

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

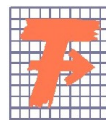
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2012**

**MILOSLAVA REKOVÁ**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management – Textil

**OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KONTAKTNĚ  
MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VLNĚNÝCH  
TEXTILIÍ**

**OBJECTIVE EVALUATION OF CONTACT  
MECHANICAL PROPERTIES OF WOOLEN FABRICS**

MILOSLAVA REKOVÁ

KHT-113

**Vedoucí diplomové práce:** Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu	50
Počet obrázků	24
Počet tabulek	2
Počet grafů	14
Počet stran příloh	16

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miloslava Reková**  
Osobní číslo: **T10000133**  
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**  
Studijní obor: **Produktový management - Textil**  
Název tématu: **Objektivní hodnocení kontaktních mechanických vlastností vlněných textilií**  
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte stručný přehled poznatků o komfortu textilií včetně sensorického komfortu textilií a způsobů jeho hodnocení. Rovněž popište strukturu a vlastnosti vlněných vláken a vysvětlete podstatu škrábavosti těchto vláken.
2. Vysvětlete princip přístroje na hodnocení škrábavosti vlněných vláken vyvinutého ve spolupráci s TUL-FT na EGE univerzitě, a seznámte se s jeho obsluhou.
3. Pomocí přístroje proměřte stupeň škrábavosti vlněných tkanin o nejméně dvou odlišných plošných hmotnostech avšak stejné vazbě vyrobených z vláken typu Merino, vláken o střední jemnosti a vláken hrubých. Stejně tkaniny dle možností vyhodnoťte z hlediska jejich škrábavosti i subjektivně.
4. Výsledky přístrojového i subjektivního hodnocení vyhodnoťte statisticky, porovnejte a zpracujte vztahů do diagramů při aplikaci poznatků o mechanice vláken. Uveďte případné připomínky ke zlepšení funkce přístroje.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Pařilová H.: Textilní zbožíznalství - Tkaniny. Skriptum TUL-FT, Liberec 2000**

**Stříž B. : Mechanika textilií, I část. Skriptum TUL-FT, Liberec 2001.**

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.**

Katedra hodnocení textilií

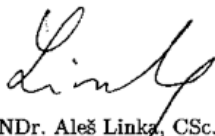
Konzultant diplomové práce:

**Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.**

Katedra hodnocení textilií

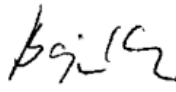
Datum zadání diplomové práce: **31. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2012**

  
prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



  
Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011



## **PROHLÁŠENÍ**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 9.5.2012

.....

Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Mé největší poděkování patří Prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc., za podnět k zajímavému tématu, rady a domluvení pracovní stáže na Ege Univerzitě v Izmiru v Turecku. Poděkování patří i Ing. Vladimíru Bajzíkovi, Ph.D., za cenné konzultace k práci.

Diplomová práce nebyla uskutečněna bez pomoci a rad Doc. Dr. Nilgün Özdil a Ars. Gör. Gamze Süpüren Mengüç z Ege Univerzity v Izmiru v Turecku. Mé poděkování patří oddělení Erasmu Technické univerzity v Liberci za finanční podporu v průběhu pracovní stáže v Turecku a za její uskutečnění, jmenovitě Ing. Arch. Randě Tomehové, Věře Houšťové a fakultní koordinátorce Ing. Pavle Těšinové, Ph.D.

Nakonec bych poděkovala mé rodině a blízkým za podporu v průběhu diplomové práce.

## ANOTACE

Účelem práce je prozkoumání kontaktně mechanických vlastností vlněných textilií. Zvláště je práce zaměřena na škrábavost vlněných tkanin. Škrábavost je měřena na prototypu modifikovaného přístroje FRICTORQ, kde modifikovaná hlavice měří ohybovou tuhost vyčnívajících vláken. Parametry tkanin, které ovlivňují škrábavost jsou porovnány s koeficientem škrábavosti. Naměřené objektivní hodnoty z prototypu přístroje, jsou porovnány se subjektivním hodnocením. Je stanoven koeficient škrábavosti.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

**Škrábavost, FRICTORQ, Koeficient škrábavosti**

## ANNOTATION

The purpose of this thesis is to investigate the contact mechanical properties of woolen fabrics. This study is mainly focused on a prickliness of woolen fabrics. The prickliness is measured by a prototype of modified instrument called FRICTORQ, where the modified head measures the bending rigidity of protruding fibers. The parameters of fabrics influencing the prickliness are compared with coefficient of prickliness. The objective evaluation is compared to subjective evaluation. Coefficient of prickliness is determined.

### **KEY WORDS:**

**Prickliness, FRICTORQ, Coefficient of prickliness**

## OBSAH

<b>Obsah .....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Textilní komfort .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Psychologický komfort .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Patofyziologický komfort .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Termofyziologický komfort .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Senzorický komfort.....</b>	<b>11</b>
1.4.1 Senzorický systém lidské kůže.....	11
1.4.2 Parametry tkanin ovlivňující senzorický komfort.....	12
1.4.3 Hodnocení senzorického komfortu .....	13
<b>1.5 Škrábavost .....</b>	<b>16</b>
1.5.1 Škrábavost vlněných textilií .....	21
1.5.2 Škrábavost a tření .....	23
1.5.3 Škrábavost v literatuře.....	25
<b>2 Materiály a metody .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Použité vzorky .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Použité přístroje a měření.....</b>	<b>31</b>
2.2.1 Frictorq .....	31
2.2.2 Prototyp měřící hlavičky a měření škrábavosti .....	35
2.2.3 Jemnost vláken .....	38
2.2.4 Tloušťkoměr .....	40
2.2.5 Plošná hmotnost .....	40
2.2.6 Jemnost příze .....	41
2.2.7 Dostava .....	42
<b>2.3 Metodika subjektivního hodnocení .....</b>	<b>42</b>
<b>2.4 Podmínky měření.....</b>	<b>42</b>
<b>3 Výsledky a diskuse .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Výsledky měření vláken v použitých tkaninách.....</b>	<b>43</b>

3.2	Vztah mezi třením a škrábavostí.....	44
3.3	Vztah mezi rozdílovým koeficientem škrábavosti $\delta_p$ a naměřenými vlastnostmi .....	48
3.4	Vztah mezi koeficientem škrábavosti $\mu_p$ a naměřenými vlastnostmi...	50
3.6	Porovnání objektivního a subjektivního hodnocení .....	54
	Závěr .....	56
	Seznam použité literatury .....	58
	Seznam použitých symbolů .....	61
	Seznam obrázků .....	62
	Seznam tabulek .....	63
	Seznam grafů .....	63
	Seznam příloh .....	64

## ÚVOD

Používání vlněných tkanin zejména jako první kontaktní vrstvu, kdy textilie má přímý kontakt s pokožkou, způsobuje nepříjemný pocit podráždění a škrábání. Tento nepříjemný pocit je způsoben převážně hrubými vyčnívajícími vlákny z textilie. Škrábání vlněných textilií bylo do nedávna považováno za alergickou reakci jedince na vlněné výrobky. Při detailnějším výzkumu bylo zjištěno, že škrábání vlněných textilií je v důsledku vyčnívajících vláken s průměrem nad 21  $\mu\text{m}$ . Některé studie zahrnují i větší průměry - 30  $\mu\text{m}$ . Škrábavost způsobuje už jen 5% vláken s průměrem nad 30  $\mu\text{m}$  použitých v textiliích. Škrábavost je značně ovlivněna subjektivním vnímáním. Najdou se velké rozdíly ve vnímání z hlediska pohlaví, kdy ženy mají citlivější pokožku než muži. Další hledisko je věk, kdy s přibývajícím věkem se pokožka stává méně citlivou.

Škrábavost je poměrně nové textilní téma a nebyla doposud vynalezena spolehlivá objektivní metoda měření. Subjektivní hodnocení je časově náročné, drahé a téměř nepoužitelné pro průmysl. V současné době byl publikován první prototyp přístroje na měření škrábavosti v prosincovém čísle roku 2011 v Textile Research Journal. Přístroj je založen na měření ohybové tuhosti vláken.

Ve spolupráci Technické univerzity v Liberci a Ege univerzity v Izmiru v Turecku byl zkonstruován prototyp přístroje na měření škrábavosti. Přístroj je umístěn v laboratoři textilního zkušebnictví na Ege univerzitě v Turecku, kde byla tato diplomová práce realizována v průběhu pracovní stáže za podpory programu Erasmus Technické univerzity v Liberci. U přístroje je nutné ověřit základní princip měření, zvolit správné hodnocení výsledků a definovat koeficient škrábavosti.

Vyřešení spolehlivé objektivní metody hodnocení škrábavosti by vedlo k urychlení vývoje vhodných jemných vlnařských textilií pro spodní prádlo. V oblastech s největší produkcí vlny jako je Čína, Austrálie, Nový Zéland, Velká Británie, Turecko a v zemích bývalého Sovětského svazu, je otázka řešení škrábavosti mnohamiliardový obchod.

# **1 TEXTILNÍ KOMFORT**

Komfort můžeme definovat jako stav organismu, kdy všechny fyziologické funkce jsou v optimu. Textilní komfort se dělí na čtyři podčásti: psychologický, patofyziologický, termofyziologický a senzorický [1].

## **1.1 Psychologický komfort**

Psychologický komfort je ovlivněn různými hledisky. Jde zejména o klimatická, historická, ekonomická, kulturní, sociální a individuální hlediska [1].

Vrstvy a typ oblečení si volí jedinci vzhledem ke klimatu příslušnému k dané geografické poloze. Nejen klima, ale i historie ovlivňuje zvyky oblékání lidí. Z kulturního hlediska jde zejména o náboženství, např. oděv žen v muslimských zemích, dále tradice, zvyky a návyky lidí v dané oblasti. Psychologické hledisko zahrnuje věk, sociální třídu a postavení jedince nejen v práci. Ekonomické hledisko ovlivňuje politický systém, výrobní prostředky a podmínky obživy. Poslední hledisko je individuální, které zahrnuje módní trendy a osobní preference jedince [1].

## **1.2 Patofyziologický komfort**

Jedná se o působení chemických látek v materiálu a mikroorganismů přítomných na pokožce. Působením těchto dvou aspektů může být vyvolána alergická reakce. Kožní onemocnění může být způsobeno drážděním nebo alergií. Dráždění je fyzikálně-chemický jev, který vyvolávají některé prací prostředky. Záleží také na složení a struktuře materiálu. Alergie je individuální jev, která ústí v ekzém. Alergeny mohou být prací prostředky a aviváže. Chemickou a biologickou nezávadnost textilního výrobku certifikuje norma ISO 14 000 [1].

### **1.3 Termofyziologický komfort**

Termofyziologický komfort je stav tepelné pohody organismu, kdy nedochází k pocení, ani nenastává pocit chladu. Jde o stav pohody, kdy dochází k fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím. Jde o stav teplotního pohodlí. Termofyziologický komfort nastává při těchto optimálních hodnotách – teplota pokožky  $33-35^{\circ}\text{C}$ , relativní vlhkost vzduchu  $50 \pm 10\%$ , rychlost proudění vzduchu  $25 \pm 10\text{cm}^{-1}$ , obsah  $\text{CO}_2$  0,07% a při nepřítomnosti vody na pokožce. Tyto hodnoty by měly být dosaženy pomocí správně zkonstruovaného oděvu, který by měl pro dané klima splňovat požadavky na přenos tepla a kapalně i plynné vlastnosti vzduchu [1].

### **1.4 Senzorický komfort**

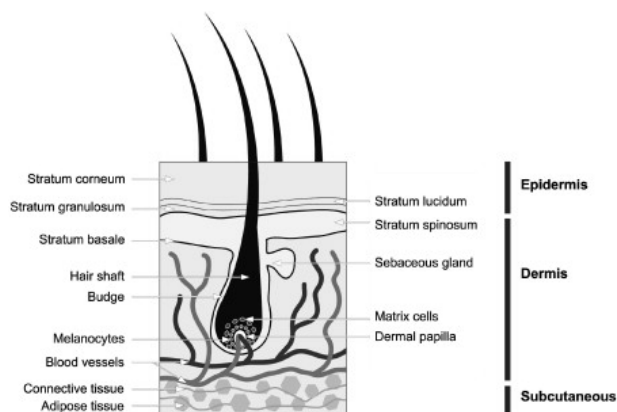
Senzorický komfort se zabývá pocity člověka při kontaktu pokožky s první oděvní vrstvou. Senzorický komfort můžeme nazvat i jako kontaktní komfort. Pocity mohou být příjemné jako například měkkost a hřejivost, nepříjemné pocity jako lepidlost, tlak, stud a dráždivé pocity jako škrábání a píchání. Komfort nošení ovlivňuje povrchová struktura použitých textilií, rozložení tlaků a sil v oděvu, absorpce a transport plynné a kapalně vlhkosti. Omak je značně subjektivní, ovlivňuje tuhost, tepelný vjem, hladkost a objemnost textilie. Omak je vyjádřením pocitu při dotyku dlaně a prstů s textilií [1].

#### **1.4.1 Senzorický systém lidské kůže**

Struktura lidské kůže je velmi složitá. Obrázek 1 zobrazuje strukturu chlupaté kůže, která pokrývá většinu lidského těla. Kůže se skládá z několika vrstev. Nejsvrchnější vrstva epidermis, česky pokožka, kde na povrchu jsou mrtvé odumřelé buňky zvané latinsky stratum corneum. Pod pokožkou je škára latinsky dermis, kde jsou cévy, vlasové váčky, potíci a tukové žlázy. Podkožní tukové vazivo představuje poslední vrstvu kůže. Základní funkce kůže jsou: ochrana proti vnějším vlivům, jako světlo, teplo, zima a radiace, příjem podnětů, například tlak, bolest, teplo, regulace



tělesné teploty. Kůže je hranice lidského těla s okolním prostředím a obsahuje mnoho senzorických receptorů pro příjem vnějších podnětů. V kůži jsou tři základní typy receptorů rozdělených podle druhu podnětu: mechanoreceptory, termoreceptory a nocireceptory [2].



Obr 1: Schématický obrázek lidské kůže [3]

Čtyři základní typy mechanoreceptorů jsou Vater-paciniho, Ruffiniho, Meissnerova a Merkelova. Vater-paciniho receptory detekují vibrace, Ruffiniho zakončení jsou zodpovědná za vnímání tlaku hluboko v kůži. Hlavní funkcí Meissnerových tělísek je hmatová. Merkelova tělíska rozpoznávají tlak. Termoreceptory se rozdělují na receptory chladu a tepla. Nocireceptory jsou receptory bolesti [2].

### 1.4.2 Parametry tkanin ovlivňující senzorický komfort

Drsnost a škrábání tkanin jsou důležité charakteristiky přímo ovlivňující senzorický komfort při nošení oděvu. Pocit drsnosti koreluje s povrchovými vlastnostmi textilie (třecí síla, koeficient drsnosti), kompresními vlastnostmi textilie (stlačitelnost a energie stlačení), průměrem vláken, tahovými charakteristikami (elastické zotavení, prodloužení do přetrhu). Pocit škrábání je spojen s tahovými vlastnostmi, drsností, stlačitelností. Pocit drsnosti roste s rostoucím průměrem vláken. Škrábavost tkanin přímo koreluje s průměrem vláken, tloušťkou tkanin při malém přitlaku a drsností. Škrábavost tkanin je také ovlivněna hustotou hrubých vláken obsažených na jednotku plochy a variace v distribuci průměru vláken. Těsnost oděvu při nošení způsobuje

senzorický diskomfort, zvláště při pocení. Těsnost oděvu je funkcí ohybové tuhosti textilie. S menší ohybovou tuhostí se zvětšuje pocit těsnosti. Hřejivost a plošná hmotnost textilií způsobuje také diskomfort. Senzorické vlastnosti textilií mohou být zlepšeny různými typy finálních úprav. Lze říci, že textilie je vyrobena v průběhu finálních úprav z hlediska senzorického komfortu [2].

### **1.4.3 Hodnocení senzorického komfortu**

Kvalitu textilií hodnotí většina lidí kontaktem ruky s textilií. Nakupující se vždy dotknou kupovaného oblečení před koupením daného kusu. Zlepšené finální úpravy, nová vlákna a speciální textilní produkty jsou úspěšné postupy v průmyslu z důvodu zlepšeného omaku textilií. Omak může být definován jako odpověď na kontakt s textilií. Neobsahuje jen fyzické aspekty, ale také fyziologické, zrakové a sociální. Charakteristiky omaku jsou hodnoceny subjektivně hodnocením drsnosti, hladkosti, měkkosti, flexibility, tloušťky, škrábavosti a apod. Objektivní hodnocení textilie má komerční významnost, protože podává výsledky o senzorických vlastnostech tkanin. Je důležité otestovat první subjektivní hodnocení omaku, než se vyhodnotí vztah k mechanickým a povrchovým vlastnostem. Pierce první vyhodnotil objektivní měření omaku, identifikoval důležitost ohybu, stlačení, objemu a povrchových vlastností [4]. Howorth a Oliver prvně definovali tři charakteristiky, které přímo ovlivňují omak textilií – jde o povrchovou jemnost (hladkost), tuhost a tloušťku. Série omakových vlastností byla navržena Japonskou hodnotící a standardizující komisí pro mužské oděvy pro různé klimatické podmínky. Pro mužské letní oděvy identifikovali čtyři primární vlastnosti jmenovitě – plnost, tuhost, křehkost a tvrdost. Pro zimní oděvy jde o tři vlastnosti – jemnost, plnost a tuhost. Také stanovili standartní hodnocení na 10-ti bodové škále. Pro objektivní hodnocení omaku byl sestaven přístroj pro měření mechanických a povrchových vlastností. Přístroj KES měří tah, smyk, ohyb, stlačení a povrchové vlastnosti. Winakor a spol. uvažili jiné fyzické charakteristiky textilií, jako je tuhost, drsnost, a tloušťka, které reprezentují ohybové, třecí charakteristiky a stlačitelnost, vyskytující se v omaku textilií. Definovali devět polárních párů, vysvětlujících senzorické charakteristiky textilií. V případě ohybových vlastností jde o páry: pružný – tuhý, řídký – pevný, mačkový – nemačkový. Třecí vlastnosti: hladký –

škrábavý, hladký – drsný, jemný – hrubý. Tloušťka: tlustý – tenký. Stlačení: Jemný – tvrdý. Plošná hmotnost: lehký – těžký [2].

### **Subjektivní hodnocení**

S vývojem nových tkanin určených pro různé druhy činností a pro různé klimatické podmínky musí být zaručen optimální komfort výrobků. Vývoj mnoha nových materiálů znesnadňuje hodnocení textilií z hlediska kvality a vhodnosti. Subjektivní hodnocení je důležité pro textilní a oděvní průmysl a je realizováno pomocí kontaktu ruky včetně prstů s textilií. Hodnocení závisí kulturních a individuálních preferencích hodnotitele. Subjektivní hodnocení je velice časově náročné a drahé. Existuje mnoho metod pro subjektivní hodnocení omaku. Subjektivní hodnocení je normováno, z důvodu průběhu hodnocení v jiných časech, podmínkách apod. Organizace AATCC (American Association of Textile Chemist and Colourists) publikovala normu pro standardizaci subjektivního hodnocení. Norma obsahuje detailní způsob, jak vzorky musí být připraveny, jak musí být hodnotitel poučen a jak výsledky zpracovat. Norma obsahuje i použité výrazy pro hodnocení. Na Technické Univerzitě v Liberci se pro hodnocení omaku používá interní norma TUL č. 23 – 301 – 01/01 [5].

### **Objektivní hodnocení**

Vědci se pokoušejí objektivně změřit omakové vlastnosti textilií od roku 1970. Byly vynalezeny 2 nejznámější přístroje měřící povrchové a mechanické vlastnosti textilií – Kawabata Evaluation System of fabric (KES-F) a Fabric Assurance by Simple Testing (FAST). Pro měření tepelného omaku jsou také známé přístroje Thermo-labo (Kawabata) a Alambeta (Hes).

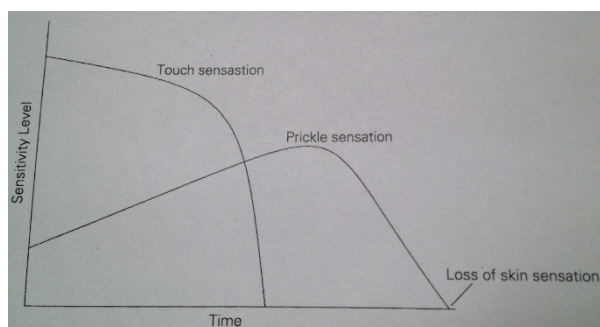
Přístroj KES se skládá ze čtyř modulů měřící mechanické a povrchové vlastnosti textilií. KES-F1 měří tahové a smykové vlastnosti, KES-F2 měří ohybové vlastnosti, KES-F3 měří stlačitelnost a KES-F4 měří povrchové tření a drsnost. Přístroj měří celkem 15 charakteristik, které lze rozdělit do skupin. Tahové vlastnosti jsou: linearita [-], deformační energie [ $\text{Ncm}/\text{cm}^2$ ] a pružnost [%]. Smykové vlastnosti jsou: tuhost ve smyku jako směrnice přímky [ $\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] a hystereze při úhlu smyku  $\phi=0,5^\circ$  [ $\text{N}\cdot\text{cm}$ ].

Ohybové vlastnosti měří: tuhost v ohybu na jednotku délky [ $\text{Ncm.cm}^{-2}$ ], moment hystereze na jednotku délky při  $\phi=0,5^\circ$  [ $\text{Ncm.cm}^{-2}$ ] a moment hystereze na jednotku délky při  $\phi=5^\circ$  [ $\text{Ncm.cm}^{-2}$ ]. Objemové charakteristiky jako jsou: linearita [-], tloušťka jako funkce rostoucího přitlaku, energie potřebná ke stlačení [ $\text{Ncm.cm}^{-2}$ ] a pružnost [%]. Povrchové charakteristiky: průměrný koeficient tření [-], průměrná odchylka koeficientu tření [-] a průměrná geometrická drsnost [ $\mu\text{m}$ ]. Poslední jsou geometrické charakteristiky, plošná hmotnost [ $\text{g.m}^{-2}$ ] a tloušťka [mm] [1].

Přístroj FAST byl vynalezen v Austrálii organizací CSIRO. Přístroj měří omakové vlastnosti textilií. Skládá se ze čtyř přístrojů. FAST-1 měří stlačitelnost, FAST-2 měří ohybovou tuhost, FAST-3 měří roztažné vlastnosti a poslední FAST-4 měří rozměrové vlastnosti [2].

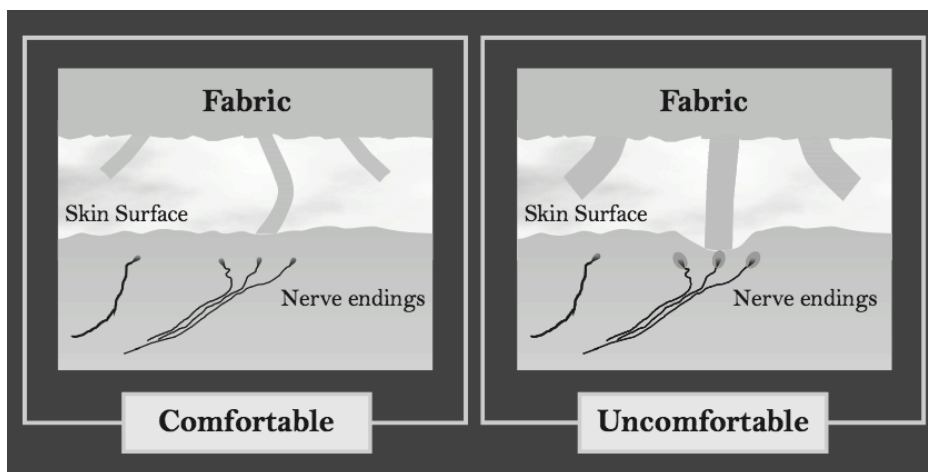
## 1.5 Škrábavost

Při nošení oděvu v přímém kontaktu s pokožkou může vzniknout nepříjemný pocit diskomfortu - škrábání. Lidé si často stěžují na škrábání oděvu nošeného přímo na pokožce, zejména vlněného spodního prádla [13]. Škrábavost je pocitem velice subjektivním, záležícím na mnoha faktorech. Ženy mají více citlivou pokožku než muži, rozdíl je zejména v umístění nervových zakončení v kůži. Další faktor - věk, kdy stárnoucí pokožce ubývá citlivost, z důvodu neobnovování buněk pokožky a následné tvrdnutí. Děti mají naopak mnohem citlivější pokožku. Nervová zakončení způsobující bolest jsou umístěna velice blízko povrchu chlupaté pokožky. Nervová zakončení nejsou na lysé pokožce, která je například na prstech, dlani a spodku chodidel. Na těchto částech těla není škrábavost pociťována. Záleží také na vnějších okolnostech jako je relativní vlhkost a teplota. Svrchní vrstva pokožky – epidermis, obsahuje mrtvé a zrohovatělé buňky – stratum corneum, které ve vlhkém prostředí změknou a vyčnívající vlákna mohou lehce proniknout skrz epidermis, což vede k zvýšení pocitu škrábavosti [2]. Z obrázku 2 je zřejmé, že dotykový vjem a pocit škrábavosti se mění v závislosti na čase. Testování bylo provedeno na předloktí 12-ti dobrovolníků. Dobrovolníkům byla dána manžeta na ruku pro regulaci krevního tlaku na hodnotu tlaku 270 mm Hg. Dotykový vjem nejprve pomalu klesá, a při určité hranici klesá rychle. Pocit škrábavosti, vyvolaný bolestí, teplotou, složením textilie nejprve pomalu narůstá a poté rapidně klesá. Dotyk či pocit omaku se ztratí po 20 minutách, kdežto škrábání přetrvává i přes 40 minut a poté nastává znecitlivění pokožky [2, 7].



Obr. 2: Časový průběh ztráty pocitu škrábavosti a dotyku [2]

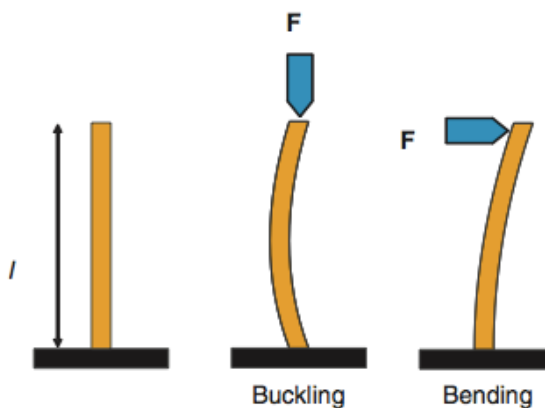
Pocit škrábavosti je spojován s vlnou a alergickou reakcí na vlnu. Nejde o alergii, ale o mechanické stimulování pokožky vláknem [8]. Konce vláken vyčnívají z textilie a při nošení tlačí na pokožku, jak lze vidět z obrázku 3, záleží na poloze nervových zakončení v pokožce. Blíže položená nervová zakončení aktivují bolest [9].



Obr.3: Poloha nervových zakončení [9]

Přijatá hypotéza, založená na mnoha studiích je, že tuhé vlákno vyčnívající z povrchu tkaniny a působící na pokožku při nošení oděvu se ohne dle Eulerova vztahu. Pokud vyčnívající vlákna si udrží dostatečnou sílu před ohnutím, tak vyvolávají pocit škrábavosti. Publikované studie zahrnují pokusy, kde textilie vyrobené z akrylové směsi navržené se širokou distribucí průměru vláken také vykazují škrábavost. Tudíž škrábavost není vlastnost jen vlněných tkanin [8, 22].

Obrázek 4 ilustruje dva možné modely při deformaci vlákna, řekněme nosníku z technického hlediska. Z technického hlediska můžeme aplikovat jednoduchý ohyb tyče jako ohyb vlákna [10].



Obr.4: Deformace vlákna [10]

Síla působí ze shora na vlákno paralelně s osou vlákna, a ohyb vlákna nastane pokud vyvinutá síla je větší než stanovená hranice. Ohybová tuhost je úměrná rovnici [10]:

$$F = \frac{Ed^4}{l^2} \quad (1)$$

kde:

$E$  je Youngův modul pružnosti materiálu [Pa]

$d$  je průměr vlákna [m]

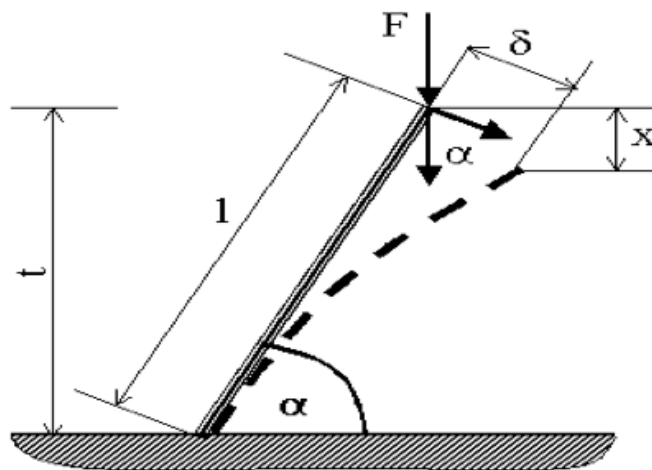
$l$  délka vyčnívajícího konce vlákna z povrchu [m]

Obrázek 4 také zobrazuje ohyb vlákna neboli nosníku. V tomto případě vnější síla působí kolmo na nosník, ohybová tuhost je úměrná rovnici [10]:

$$F = \frac{Ed^4}{l^3} \quad (2)$$

Z obou rovnic je zřejmá velká podobnost pro ohyb a stlačení. Obě rovnice jsou úměrné Youngovu modulu pružnosti materiálu, obě jsou závislé na čtvrté mocnině průměru vlákna a jsou obě inverzní funkcí délky vlákna. Například vlněné vlákno, vyčnívající 2 mm z povrchu textilie, s průměrem vlákna 30 mikrometrů, může vyvinout maximální sílu před ohybem 0,75 mN. Nové studie prokázaly, že škrábavost je také ovlivněna procentem obsažených vláken s průměrem větším než 30  $\mu\text{m}$  pro danou konstrukci textilie [10].

Vyčnívající vlákno z textilie pod úhlem  $\alpha$ , na které působí kolmá síla lze vidět na obrázku 5 [1]:



Obr 5: Šikmé vyčnívající vlákno z textilie [1]

Deformace šikmého vlákna je dána rovnicí [1]:

$$y = \frac{F l^3 \cos^2 \alpha \sin \alpha}{3 E I} \quad (3)$$

Kde

$F$  je vnější působící kolmá síla [N]

$l$  je délka vlákna [m]

$\alpha$  je úhel mezi vyčnívajícím vláknem a textilií [rad]



$E$  je modul pružnosti [Pa]

$I$  je moment setrvačnosti [ $m^4$ ]

Moment setrvačnosti vlákna je vyjádřen vztahem [1]:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (4)$$

Mírou ohebnosti vláken je parametr závislý na ohybovém momentu  $M$  a poloměru křivosti vlákna  $R$ , viz rovnice [11]:

$$Fe = \frac{1}{(MR)} \quad (5)$$

Pro ohyb nosníku obecně platí následující rovnice, kde  $E$  je modul pružnosti [Pa] a  $I$  je průřezová charakteristika [22]:

$$MR = EI \quad (6)$$

Pro vlákna s kruhovým průřezem tedy obecně platí:

$$Fe = \frac{64}{E\pi d^4} \quad (7)$$

Vlákna s vysokým modulem musí mít malý průměr, aby byla ohebnější a měly menší hodnoty škrábavosti [22].

He and Wang modelovali chování nepravidelných vláken. Nepravidelná vlákna jsou ta, kde průměr vlákna se liší po celé délce vlákna. S rostoucí úrovní nepravidelnosti se snižuje síla potřebná k ohybu [12].

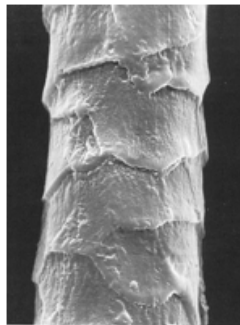
Škrábavost nemůže být hodnocena jen z hlediska průměru vláken, musí být zohledněny i další parametry, jako délka vlákna, konstrukce textilie a finální úprava

textilie. Měření škrábavosti je těžký úkol, jelikož primární hodnocení musí být subjektivní od nositelů oděvů. Z výzkumného hlediska je subjektivní sběr dat velice časově náročný a poměrně drahý. Subjektivní test škrábavosti se hodnotí dotekem předloktí hodnotitelů s textilií, byl vynalezen v Austrálii organizací CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). Test probíhá tak, že hodnotitel si jemně přiloží tkaninu na předloktí a dá určitý počet bodů dle pocitu škrábavosti na stupnici 0-10. Hodnotitelé mohou dostat pro porovnání tkaninu nejškrábavější, která je ohodnocena 10 body a hladkou, neškrábavou ohodnocenou 0 bodů. Hledání objektivní metody hodnocení škrábavosti je stále aktuální otázkou [10].

### **1.5.1 Škrábavost vlněných textilií**

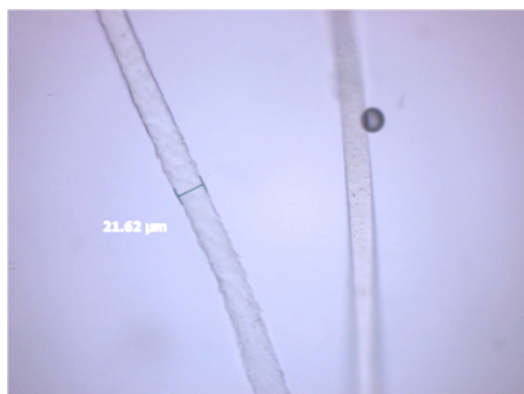
Výroba první vrstvy oděvu je důležitý tržní segment vlny, nicméně je zde mylný dojem, že vlna není vhodná pro výrobu prádla z důvodu škrábavosti a pichlavosti. Někteří lidé dokonce tvrdí, že mají alergii na vlněné oblečení. Rozsáhlé studie v organizacích CSIRO v Austrálii a DWI v Německu potvrdily, že dermatologické alergické testy vlněných textilií většinou obsahují významné množství soli u surové a neupravené vlny. Sůl je v podstatě ovčí pot (močovina), který se má odstranit praním. Kožní reakce jsou převážně z těchto solí, u některých případů mohou vyústit v kopřivku, latinsky *Urticaria factitia*. Kopřivka je vyrážka způsobená třením či škrábáním v místě zvýšeného tření pokožky s oděvem. Tyto soli jsou odstraněny během čištění a zpracování vlny. Lze tedy vidět, že ne vždy dochází ke správnému zpracování vlny, zejména z důvodu ušetření nákladů. Další studie prokázaly, že alergie na vlnu je mechanického původu. Vlna je živočišného původu, vlněná textilie vždy obsahuje vlákna různých průměrů a délek, variační koeficient průměru vlněných vláken je kolem 20% a variační koeficient délky vláken je až kolem 50%. Například průměrná hodnota jemnosti vláken je dána hodnota 21,2  $\mu\text{m}$ , nejtenčí vlákna mohou mít 10  $\mu\text{m}$ , a nejhrubší 40  $\mu\text{m}$ , avšak největší výskyt je právě kolem 20  $\mu\text{m}$  [9].

Vlna je složité keratinové vlákno, vyvinuté přírodou milióny let pro ochranu ovce v různých klimatických podmínkách po celém světě. Kvalita vlněného vlákna záleží na druhu ovce. Nejjemnější vlákna jsou Merino a patří k nejdražším. Pod mikroskopem, viz obrázek 6, jsou vidět šupinky pokrývající povrch vlákna.



Obr.6: Vlněné vlákno [13]

Vlna odpuzuje mírný déšť, při dopadu kapky na šupinky dojde k sklouznutí kapky. V protikladu, vlna je savá, dokáže vodu i pohltit jako vodní páru, může absorbovat až 30 % vlhkosti ke své vlastní váze, bez pocitu vlhka. Vlna tuto vlhkost i odpaří, protože má dispozice být v rovnováze s okolními podmínkami. Při vstupu vlhkosti do vlákna se vytvoří malé množství energie, které poskytuje hřejivý efekt, dokud není energie absorbována. Každý kilogram vlny vytvoří tolik energie, jako lidské tělo za hodinu. Naopak pak při vstupu do suchého a teplého prostředí vlhkost se uvolní a oděv má chladicí efekt. Vlna je také dobrý izolátor, propletená zkroucená vlákna vlny obsahují vzduch, který má funkci izolátoru, nejlepšího v přírodě [13].

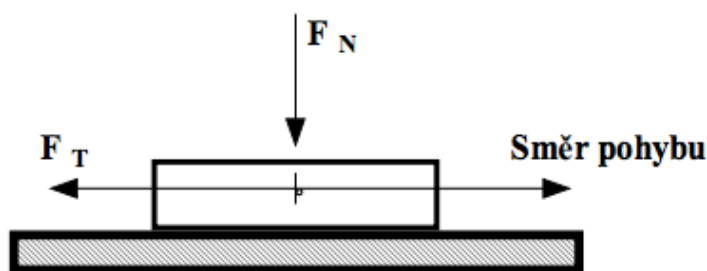


Obr.7: Vlněné a polyesterové vlákno

Povrchové šupinky na vláknech jsou zodpovědné za plstění vlny. Šupinky se do sebe zasekávají při pohybu za mokra, například při praní v pračce. Další vlastností je kadeřavost, neboli obloučkovitost vlny. Vláknem je bikomponentní povahy, skládá se z ortokortexu a parakortexu, kde každá ze složek reaguje jinak na vlhko a teplo. Pro porovnání povrchu je na obrázku 7 vidět vlněné a polyesterové vlákno [13].

### 1.5.2 Škrábavost a tření

Při škrábání tkaniny na pokožce dochází také k tření. Tření mezi pokožkou a textilií je důležitý parametr textilního komfortu. Při pohybu tkaniny po pokožce je vyvolán zvýšený pocit drsnosti textilie. Nižší tření je většinou u hladkých tkanin, ale ne vždy. Tření ovlivňuje také vlhkost na pokožce. S vyšším obsahem vlhkosti se tření zvyšuje, tudíž dochází k většímu pocitu diskomfortu. Při dosažení 40% vlhkosti, koeficient tření se již výrazně nezvětšuje. Můžeme tedy říci, že na pokožce cítíme pocit diskomfortu při 40% vlhkosti z důvodu velkého tření. Koeficient tření je parametr textilního komfortu a jeho význam odůvodňuje mnoho studií. Proto se vědci zaměřili na vynalezení nových metod měření tření. Tření je ovlivněno mnoha faktory, jako je typ vláken, složení, struktura příze, struktura tkaniny a stlačitelnost [14].



Obr.8: Tření tělesa a textilie [15]

Tření je odpor proti pohybu jednoho tělesa po povrchu druhého tělesa, viz obr.8. Tření můžeme rozdělit z technického hlediska na suché, kapalinné, a polosuché. Suché tření je bez maziva, kapalinné tření je kdy obě plochy jsou odděleny vrstvou maziva a polosuché tření je, když nejsou tělesa dokonale oddělena. Z fyzikálního hlediska jde například o tření smykové, valivé a viskózní. Snížení tření se může dosáhnout lubrikací. I v textilním průmyslu se provádí snižování tření povrchu vláken například pomocí laseru, nanášením chemických látek upravující povrch, působením nízkoteplotní plazmy a alkalickou hydrolýzou povrchu. Povrch vlákna může být změněn i přidavkem aditiv [15].

Amontons v roce 1699 vyslovil dva základní postuláty: Síla  $F_T$  působí proti směru pohybu tělesa po podložce a síla  $F_T$  je úměrná normálové síle  $F_N$ ,  $\mu$  je koeficient tření:

$$F_T = \mu F_N - > \mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (8)$$

Síla  $F_T$  nezávisí na geometrii povrchu, tedy na ploše kontaktů. Koeficient tření je počítán, když se tělesa dají do pohybu, jde o statický koeficient tření. Tato klasická teorie tření je podložena výzkumem Leonarda da Vinci, který zavádí postulát, že statické tření roste s růstem času, po který jsou tělesa v kontaktu před jejich uvedením do pohybu. Koeficient tření závisí na reálné ploše kontaktů. S růstem normálové síly klesá koeficient tření. Tření je statické, které vystihuje okamžik uvedení tělesa do pohybu a dynamické, kdy těleso je udržováno v pohybu [15].

### 1.5.3 Škrábavost v literatuře

Škrábavost se ve vědeckých studiích začala objevovat už v 70.-tých letech. Nepříjemný pocit pichlavosti a škrábavosti vlny se stává pro některé nositele vlna nenositelná jako první vrstva. Pro výrobce je řešení škrábavosti vlny důležitou ekonomickou otázkou. Literatury o zkoumání škrábavosti není v současné době dostatek, z důvodu poměrně nového výzkumu této oblasti.

První zmínku, proč vlna škrábe a kouše, publikovala organizace CSIRO v časopise New Scientist v roce 1987. Při monitorování aktivity nervových zakončení v kůži bylo zjištěno, že škrábavost vlny závisí na kontaktu hrubých konců vláken s kůží, které přímo stimulují receptory bolesti. Tyto receptory leží pod vnější vrstvou pokožky a jejich odpověď na bolestivý vjem je velmi rychlá. Jsou varovným systémem, že kůže je poškozována. Vědci objevili dva faktory vláken, které škrábavost ovlivňují. Jde o průměr a délku vyčnívajících vláken. Paul Kenins, vědec ve společnosti CSIRO, zjistil, že vlákno, které se ohne před vyvinutím síly větší než 75miligramů proti pokožce není hlavní stimulátor škrábavosti. Delší a jemnější vlákna nezpůsobují škrábavost, protože se lehce ohnou. Testy ukázaly, že vlna může být velice příjemná při nošení na pokožce, když průměrná hodnota vláken je menší než 21  $\mu\text{m}$  a procento hrubých vláken s větším průměrem než 30  $\mu\text{m}$  je minimální. Jemná vlna, merino, je drahá, proto výrobci přidávají hrubá vlákna pro snížení nákladů. Kenins říká, že už jen 5 % hrubých vláken v příměsi způsobuje škrábavost [16].

Matsudaira a spol. zkoumali v roce 1990 použití modifikované audio nahrávky z gramofonu k měření ohybové tuhosti vyčnívajících vláken. Měření dobře korelovalo s subjektivním hodnocením, ale zdá se, že citlivost měření je omezená [17].

G.R.S Naylor prezentoval v časopisu Textil Research Journal v srpnu roku 2010 přístroj OptimTM fine Fiber. Přístroj transformuje vlněné vlákno a vytvoří novou řadu charakteristik. Tkanina vyrobená z vláken vyrobených v OptimTMfine fiber je méně škrábavá, než stejná tkanina vyrobená ze stejných vlněných vláken. Škrábavost je

redukována procesem v přístroji, který snižuje průměrnou hodnotu průměru vláken [18].

Jayant Udakhe a spol. ve své práci: "Development of Itch-Free Woollens to Be Worn Next To the Skin by Improvement of Surface Topography of Wool Fibres with the Help of Mechanical/Chemical Processing and Plasma Technology", se zabývají odstraněním škrábavosti plasmovou technologií. Působením plasmy na vlnu dochází k redukci povrchových šupinek vln. Navíc působením enzymů a plasmy se snižuje kritické napětí vlny, a dochází k vyhlazení šupinek, tudíž povrch vlny je hladký. Výrobky vyrobené z vláken po plasmatickém a enzymatickém působení jsou zcela neškrábavé [19].

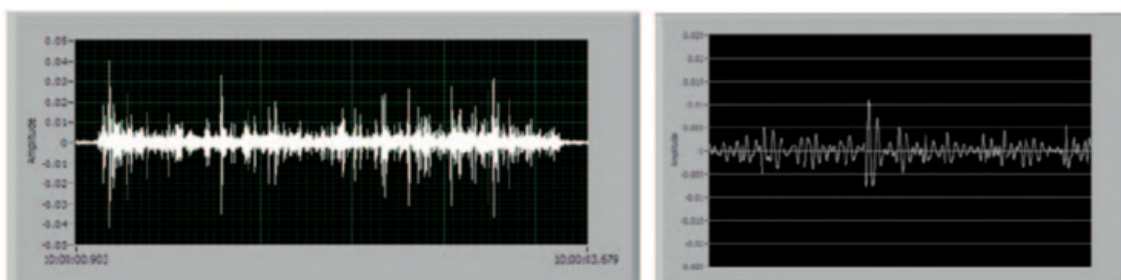
Nejnovější poznatky byly publikovány 1.12.2011 v časopise Textile Research Journal. Autoři článku: "An Instrument for Assessing Fabric Prickle Propensity", v češtině volně přeloženo jako Přístroj na měření škrábavosti tkanin, jsou Donald J. Ramsay, David B. Fox a Geoffrey R.S. Naylor z výzkumného centra CSIRO v Austrálii. Jde o unikátní prototyp přístroje vynalezeného pro měření mechanické tuhosti vláken vyčnívajících z povrchu tkaniny, protop je na obrázku 9 [10].



Obr.9: Prototyp přístroje [10]

Tuhost vlákna je klíčovým ukazatelem tendence tkaniny vyvolat škrábavý pocit při nošení oděvu na pokožce. Měření je provedeno při jednom průchodu přístroje. Prototyp přístroje byl zkonstruován a testován na akrylových pleteninách se známým složením vláken a testování bylo porovnáno subjektivně. Výsledky z měření dobře korelují s subjektivním testem pomocí předloktí. Do testu byli vybrány textilie se

známým složením a subjektivním hodnocením. Hodnoty průměru vláken se pohybovali od 19.3  $\mu\text{m}$  do 25.2  $\mu\text{m}$ , obsah vláken nad 30  $\mu\text{m}$  od 2.8% až 32.2%. Jeden z postupů jak měřit ohybovou tuhost je určit sílu potřebnou k odchýlení vlákna ze své původní polohy. Měření jednotlivých sil k určení ohybu jednotlivých vláken je velice náročné z důvodu velkého množství vyčnívajících vláken, tudíž i z mnoha dat. Z technického hlediska by se musel použít velice malý a citlivý siloměr, který je skoro nemožné zkonstruovat. Nicméně měření více vláken může být provedeno lineárně. Přístroj je v podstatě napnutá struna natažená přes povrch textilie, aby se dotkla každého vyčnívajícího vlákna. Síla působící na strunu byla stanovena z průhybu struny v interakci s vláknem. Pokud vlákna odchýlí strunu od své polohy, je vygenerován malý elektrický signál v cívce snímače. Tudíž mechanické vibrace jsou přeneseny na elektrický signál, přesně jako v elektrické kytáře. Tyto malé pohyby jsou monitorovány, digitalizovány a nahrány jako audio soubor do počítače. Kontakt s vláknem se zobrazí jako velký hrot amplitudy v důsledku odchylek struny od rovnovážné polohy, viz obrázek 10 [10].



Obr.10: Signál z měření [10]

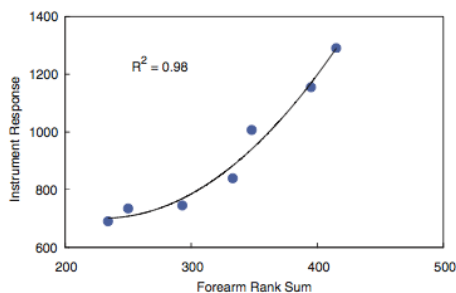
Délka struny je 120 mm, základní frekvence je stanovena na 400 Hz, dle vztahu:

$$f = \frac{1}{(2L)\sqrt{T/m}} \quad (9)$$

kde  $L$  je délka struny s hmotností na jednotku délky  $m$  a napětí  $T$ . Přesná rychlost, vzdálenost a umístění senzoru bylo dosaženo pomocí střídavě poháněného motoru s integrovaným regulátorem polohy. Rameno a hlavice přístroje je volně



nastavitelná pro přizpůsobení tloušťky materiálu. Hmotnost hlavice je 185 g, vyvíjí tlak 225 Pa, rozměry jsou 145 mm na 55 mm. Vzorek je volně položen na korek pod měřicí přístroj. Délka měření je stanovena na 200 mm, rychlost pohybu hlavy na 30 mm/sec a struna je dlouhá 120 mm. Signál byl zaznamenán v počítači pro oba směry pomocí Signál je získán pomocí „National Instruments data acquisition module“ a zpracován v LabVIEW™. Citlivost natažené struny kolísá s délkou, střed struny ukazuje větší hodnotu amplitudy, než konce struny. Z výsledků je vidět, že při vyšším obsahu hrubých vláken byla i vyšší odezva z přístroje. Jak lze vidět z obrázku 11, výsledky korelují s výsledky subjektivního testu předloktím. Byl nalezen kvadratický vztah s vysokým koeficientem determinace 0.98 [10]



Obr.11: Subjektivní a objektivní hodnocení [10]

Jde o první publikovaný prototyp přístroje na měření ohybové tuhosti. Přístroj nabízí nový přístup k měření ohybové tuhosti a nabízí potenciál k rychlému a spolehlivému posouzení škrábavosti textilií v kontaktu s pokožkou [10].

## 2 MATERIÁLY A METODY

V kapitole materiály a metody jsou představené použité vzorky pro experiment a použité metody měření, postup hodnocení výsledků, popsání použitých přístrojů a jejich funkce.

### 2.1 Použité vzorky

Pro experiment bylo použito 26 tkanin. Složení tkanin je jednak 100% vlna, tak i vlna s příměsí polyesteru, polyamidu, hedvábí a elastanu. Se souhlasem vedoucího diplomové práce byli vybrány jiné vzorky než v zadání. Vzorky pochází z různých firem v Turecku. Strukturální vlastnosti tkanin jsou v tabulce 1. Reálné vzorky tkanin jsou v příloze 9.

Škrábavost je také závislá na finální úpravě, zejména na vzhledové úpravě počesání, při které jsou jednotlivá vlákna vytahována z vazby. V této práci je celkem 6 počesaných tkanin. Jde o tkaniny číslo 4, 5, 10, 12, 19, 20. Naopak úprava kalandrováním jsou vyčnívající vlákna jsou zažehlana do povrchu. Z hlediska vazby jsou tkaniny opět různorodé. V experimentu jsou tkaniny převážně plátňové a keprové. Jemnost použitých přízí je opět různorodá. Nejjemnější tkanina je vzorek 17 s 22 tex a naopak vzorek 25 má jemnost 231 tex. Plošná hmotnost byla také zvažena, nejmenší plošnou hmotnost má vzorek 9, 15 a 18 s  $134 \text{ g/m}^2$ . Největší plošná hmotnost je u vzorku 25 s  $337 \text{ g/m}^2$ . Tkaniny byly vyhodnoceny i z hlediska tloušťky. Nejsilnější tkanina je s číslem 13 s 2.49 a nejtenčí s číslem 15 s 0.17 mm. Tloušťka tkanin je v příloze 7.

Tabulka 1: Vlastnosti použitých tkanin

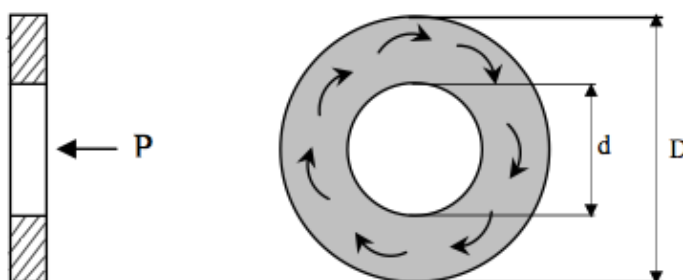
	Složení	Jemnost přízi[ $\text{tex}$ ]	Dostava [Počet nití/ $\text{1cm}^2$ ]	Plošná hmotnost [ $\text{g/m}^2$ ]
1	100% vlna	26	61	170
2	88% vlna / 9% polyamid / 3% elastan	29	55	168
3	48% vlna/ 48% polyester/ 4% elastan	28	51	145
4	80% vlna / 20% polyamid	60	30	250
5	90% vlna / 10% polyamid	94	54	284
6	86% vlna / 9% nylon / 5% elastan	31	54	171
7	100% vlna	34	56	195
8	50% vlna / 50% polyester	52	48	256
9	100% vlna	28	49	134
10	100% vlna	35	46	195
11	100% vlna	26	60	155
12	100% vlna	54	37	210
13	100% vlna	320	13	466
14	100% vlna	28	48	140
15	100% vlna	25	51	134
16	96% vlna / 4% elastan	32	53	173
17	100% vlna	22	73	165
18	100% vlna	23	58	134
19	63% vlna / 37% polyamid	52	38	205
20	95% vlna / 5% hedvábí	43	29	151
21	92% vlna/ 8% hedvábí	22	83	196
22	55% hedvábí / 45% vlna	44	38	167
23	50% vlna / 50% polyester	35	65	232
24	100% vlna	149	21	321
25	100% vlna	231	14	337
26	100% vlna	55	52	294

## 2.2 Použité přístroje a měření

Pro experiment bylo použito několik přístrojů. U každého přístroje je popsána metoda měření a vyhodnocení výsledků.

### 2.2.1 Frictorq

Frictorq vynalezl profesor Mário Lima a profesor Luboš Hes v Portugalsku v roce 2002. Přístroj je založen na rotačním principu měřícím koeficient tření. Rotační disk je na obrázku 12. Koeficient tření není vlastnost materiálu, ale vyplývá z kontaktu dvou materiálů. Nová metoda spočívá v charakteristice koeficientu tření mezi dvěma povrchy, zvláště textilního charakteru. Nejvíce používaná metoda textilie-textilie, s použitím stejné textilie, nebo standartní textilie a zkoušená textilie. Výsledky měření jsou jednoznačné a odpovídající skutečnosti, stačí pouze jedno měření pro vzorek. Přístroj je uživatelsky přívětivý. Byli vynalezeny tři typy přístroje [20].



Obr.12: Spodní otáčivý disk Frictorq [20]

Přístroj má dvě hlavní části. Horní část je položena na vodorovný vzorek a má kontaktní plochu s kruhovou geometrií. Dolní část rotuje kolem svislé osy s konstantní úhlovou rychlostí. Koeficient tření je pak přímo úměrný koncentraci naměřeného točivého momentu naměřeného přesným snímačem. Kontaktní tlak mezi vzorky je konstantní a je dán poměrem mezi vlastní vahou horního elementu, tedy měřící hlavice a kontaktní plochou. V tomto modelu, je kroutící moment  $T$  dán vzorcem [21]:

$$T = 2\pi \cdot \mu \cdot \int_{1/2}^{D/2} p \cdot r^2 \cdot dr \quad (10)$$

kde:

T	kroutící moment [Nm]
$\mu$	koeficient tření [-]
D	vnější poloměr [m]
d	vnitřní poloměr [m]
r	variabilní poloměr [m]
p	tlak na elementární oblast [Pa]

Jedním z možných předpokladů je jednotný tlak, tedy přitlačná síla P, která je rovnoměrně rozložena po celé ploše. Integrace a nahrazení p hodnotou vysvětluje následující rovnice 11 [21]:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (11)$$

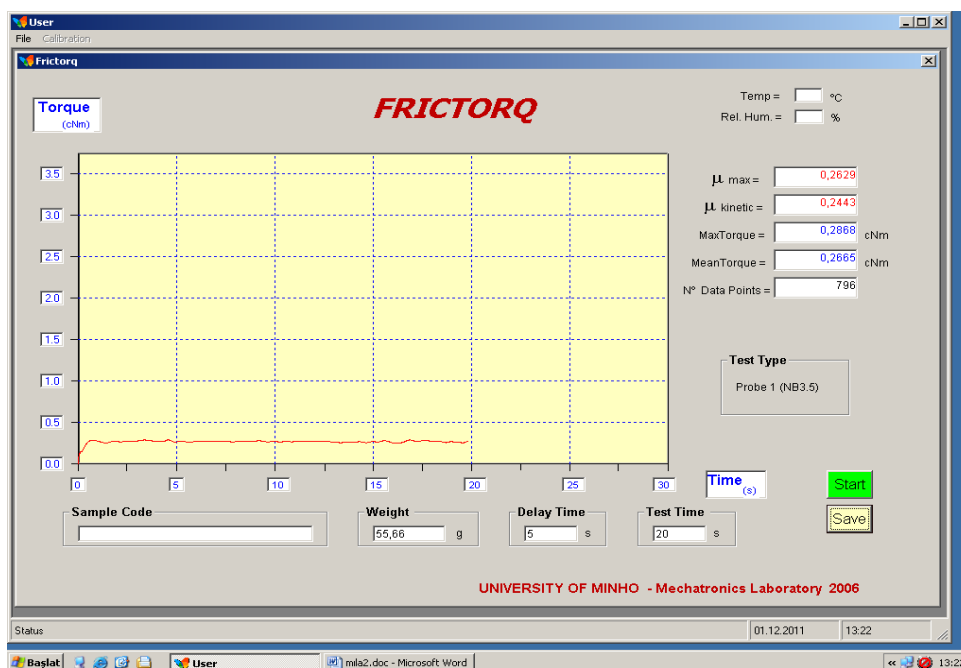
Koeficient tření  $\mu$  je funkcí naměřeného točivého momentu T, vertikálním zatížením P a geometrií kontaktní plochy s ohledem na vnitřní a vnější průměr, d a D, jak ukazuje rovnice 12 [21]:

$$\mu = \frac{3 \cdot T (D^2 - d^2)}{P (D^3 - d^3)} \quad (12)$$

Průzkumné práce vedly ke vzniku parametrů, jmenovitě jde o kontaktní tlak, původně nastaven na 2,9 kPa a lineární rychlost v střední kruhové horní části. Geometrie modelu nemohla být definována. S konečnou rychlostí přibližně 0,75 otáček za minutu na hřídeli spodní části, lineární rychlost na středu rádiusu plochy na horním těle byla 1,77 mm/s. Design Frictorq zahrnuje stacionární reakční senzor točivého momentu, připevněný k hornímu rámu přístroje. Tento rám může být ručně sklápěn uživatelem, aby se vytvořil prostor pro vložení a uchycení vzorku do spodní části.

Spodní část je rotační element [21]. V podstatě jde o hliníkový disk s vertikální hřídelí, kde tření je redukováno valivými ložisky. Otáčení hřídele je zajištěno přes rozvodový řemen, poháněný stejnosměrným motorem [21].

Po vložení vzorku musí být měřicí hlavice vycentrována na vzorek použitím plastového rámu a snímač točivého momentu musí být sklopen do pracovní polohy. Do počítače se zadá kód vzorku, hmotnost vzorku v gramech a nastaví se doba trvání testu v sekundách. Nastavení testu je většinou 20 sekund. Po uběhnutí 20 sekund, test je automaticky zastaven. Data z měřicí hlavy jsou uložena a prezentována v grafickém módu na obrazovce připojeného počítače. Na obrazovce v softwaru pro Frictorq, viz obr.13, je vidět graf průběhu měření síly v závislosti na době měření [21].



Obr.13: Výstup z měření

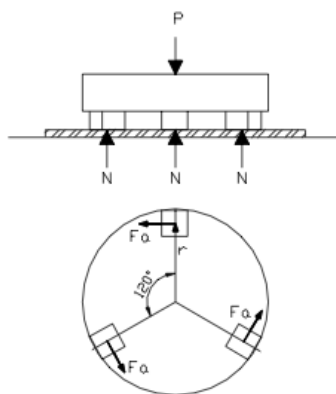
K výpočtu dynamického koeficientu tření jsou data z prvních 10 sekund ignorována, aby se signál stabilizoval. Systém pak počítá průměrnou kroutící sílu v intervalu od 10 do 20 sekund, dle rovnice 14, která nám dává dynamický koeficient tření  $\mu_{kin}$ . Hodnoty maximální a minimální kroutící síly jsou také zobrazeny. Jak lze vidět na obrázku 13, tvar grafu je stabilní a téměř vodorovný po celou dobu zkoušky [21].

Model prošel mnoha vývojovými stádii a byly opraveny nedostatky. Frictorq II byl představen v roce 2005. Jeden z přístrojů, viz obr.14, je umístěn na Ege Univerzitě v Izmiru.



Obr.14: Frictorq na Ege Univerzitě

Princip přístroje je stejný, byla jen vylepšena měřící hlavice. Kontakt s tkaninou nyní zajišťují jen 3 malé speciální senzory, které jsou rozloženy o  $120^\circ$ , viz obr. 15. Relativní posunutí o  $90^\circ$  zajišťuje, že se nová část materiálu vždy pohybuje v rámci kontaktních senzorů [21].



Obr.15: Schéma měřící hlavice [21]

U tohoto modelu je kroutící moment dán rovnicí [21]:

$$T = 3 * F_a * r \quad (13)$$

Dle definice,  $F_a = \mu N$  and  $N = P/3$ , jak je zřejmé z obrázku 14, kde P je vertikální zatížení, koeficient tření je vyjádřen následující rovnicí [21]:

$$\mu = \frac{T}{P * r} \quad (14)$$

Byli definovány parametry, jmenovitě kontaktní tlak a lineární rychlost v geometrickém středu každého kontaktního senzoru, která byla nastavena na hodnotu 1,57 mm/s. Fotografie měřicí hlavičky je na obrázku 16 [21].



Obr.16: Měřicí hlavička

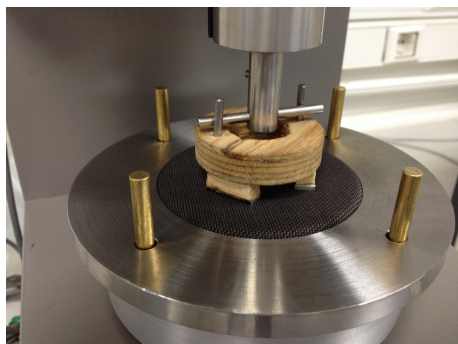
Měření na přístroji s klasickou hlavicí, tedy pro měření tření, bylo provedeno 3x na každém vzorku. Poté byly hodnoty zprůměrovány. Naměřená data jsou v příloze 1.

### 2.2.2 Prototyp měřicí hlavičky a měření škrábavosti

Myšlenka modifikovat měřicí hlavičku vznikla ve spolupráci Ege Univerzity a Technické univerzity v Liberci. Měřicí hlavička byla vytvořena studentkou doktorantského studia Ars. Gör. Gamze Süpüren Mengüç na textilní fakultě Ege univerzity. Jde o prototyp hlavičky měřící škrábavost tkanin, založené na měření kontinuální ohybové tuhosti vláken. Jako materiál pro vytvoření měřicí hlavičky bylo použito dřevo a kov. Na měřicí hlavě jsou tři kontaktní senzory umístěné o 120°. Kontaktní senzory jsou kovové v podobě 2 mm vysokých zubů. Každý senzor má 6



zubů. Fotografie hlavice je na obrázku 17. Obrázek 17a zobrazuje měřicí hlavici při měření na Frictorq, na obrázku 17b je vidět spodní část hlavice s kontaktními senzory.



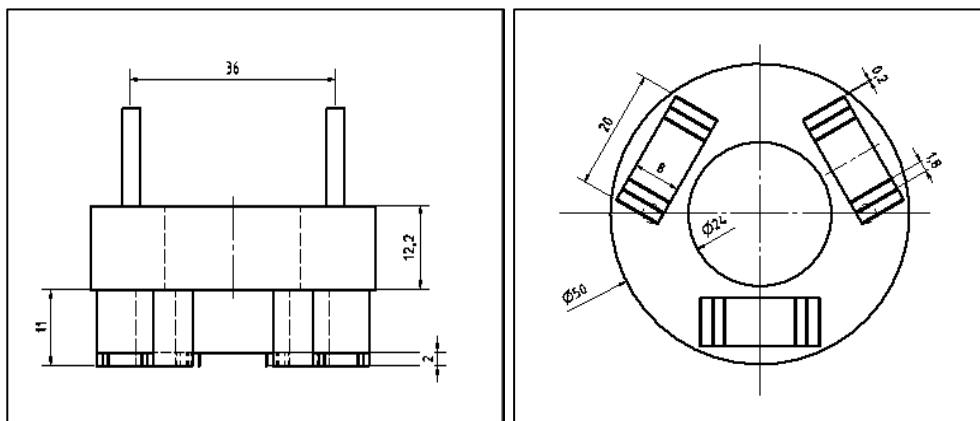
(a)



(b)

Obr.17: Prototyp měřícího senzoru na měření škrábavosti

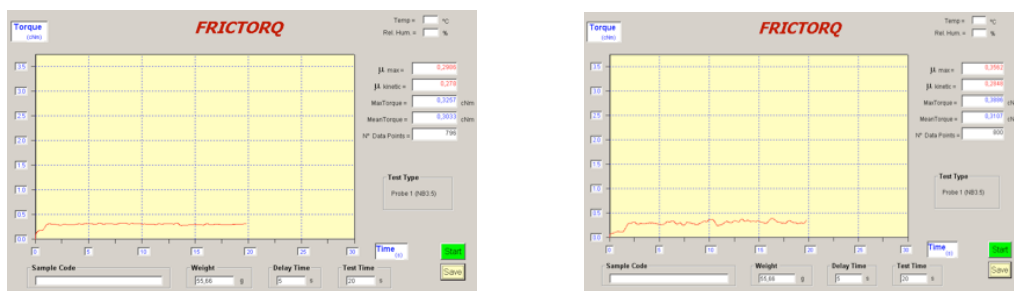
Nákres prototypu měřicí hlavice je na obrázku 18, kde jde znázorněn přední a spodní pohled. Měření je realizováno na přístroji Frictorq, kde místo hlavice měřící tření se použije k měření vytvořený prototyp hlavice. Dále vše probíhá dle výše uvedeného popisu u Frictorq II.



Obr.18: Nákres prototypu měřicí hlavice

Na obrázku 19 je vidět měření tření s klasickou hlavicí Frictorq, viz vlevo obrázek 19a, a na druhém viz obr. 19b lze vidět křivku měření s novou hlavicí na měření škrábavosti. Jde o měření identické tkaniny. Jak lze vidět, při měření škrábavosti je křivka měření se značnými amplitudami. Tyto amplitudy jsou způsobené hrubými

vlákny. Při nájezdu hlavice na hrubé vlákno musí hlavice vyvinout větší sílu k rotaci, záznam je poté zaznamenán graficky. Při pozorování měření škrábavosti, bylo znatelné jestli se jedná o hladkou tkaninu – téměř hladkou, nebo o hrubou rustikální tkaninu. V případě hrubých tkanin byly amplitudy o poznání větší.



(a)

(b)

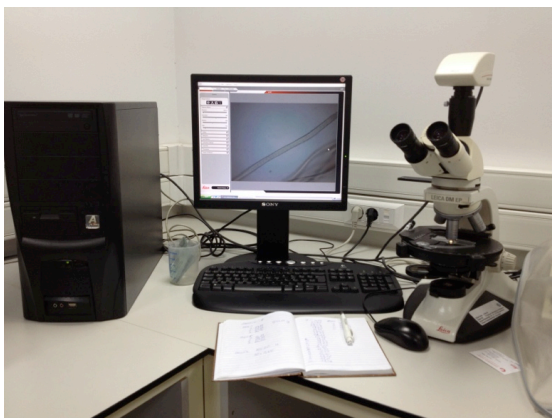
Obr.19: Porovnání měření obou hlavice

Jak ale přístroj vlastně měří? Postup celého měření je identický jako při měření tření na Frictorq. V první řadě se musí vzorek uchytit do spodní části. Poté se vycentruje měřicí prototyp hlavice a sklopí se horní část se stacionárním reakčním senzorem točivého momentu. K položení hlavice na chlupatou tkaninu dojde k částečnému stlačení vláken vahou hlavice. Po zapnutí testu dojde k rotaci hlavice na tkanině. Dochází tedy k ohybu vláken a tření vláken. Test je nastaven na 20 sekund, jako při měření tření. Pro výpočet jsou použity opět hodnoty jen od 10 do 20 sekund. Hlavice v podstatě zdůrazňuje efekt vyčnívajících vláken.

Geometrie prototypu hlavice je shodná s modelem hlavice na Frictorq. Každá tkanina byla změřena 3x a pak byly použity průměrné hodnoty. Naměřená data jsou v příloze 2.

### 2.2.4 Jemnost vláken

Pro měření jemnosti vlněných vláken byl použit polarizující mikroskop Leica DM EP. Mikroskop je umístěn v laboratoři Textilního zkušebnictví na Ege Univerzitě, viz obr.20.



Obr.20: Mikroskop Leica DM EP v laboratoři

Průměr vláken byl měřen z útku a z osnovy. Z útku bylo provedeno 50 měření a z osnovy také 50 měření. Vlákná pro zkoumaný preparát byly vždy vybrány z různých částí tkaniny. Průměr byl měřen jako pomyslná délka mezi dvěma okraji vláken v mikrometrech. Výsledky byly zařazeny do příslušných intervalů. Počet intervalů byl zjištěn pomocí Sturgesova pravidla:

$$k = 1 + 3,3 \log n \quad (15)$$

kde:

k je počet intervalů

n velikost souboru

Velikost třídy je počítána dle vzorce:

$$I = \max - \min / k \quad (16)$$

Kde:

I velikost intervalu

max maximální hodnota datového souboru

min minimální hodnota datového souboru

Aritmetický průměr jemnosti vláken je spočten touto rovnicí:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k x_j n_j \quad (17)$$

Rovnice rozptylu:

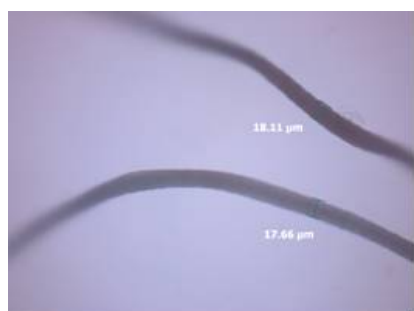
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{j=1}^k d_j^2 n_j - (\bar{d}^2 n) \right) \quad (18)$$

Rovnice směrodatné odchylky:

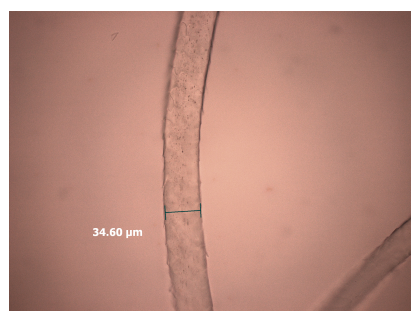
$$s = \sqrt{s^2} \quad (19)$$

Rovnice variačního koeficientu:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (20)$$



(a)



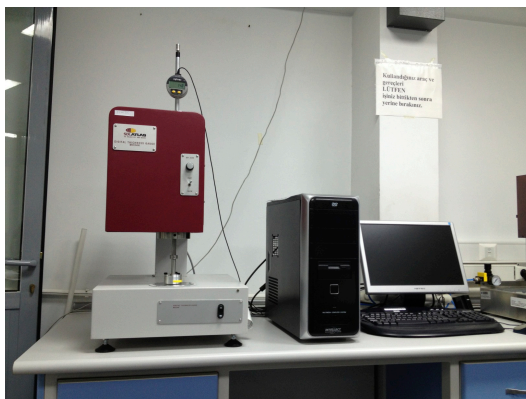
(b)

Obr.21: Jemné vlákno (a) a hrubé vlákno(b) pod mikroskopem

Na obrázku 21 je vidět pod mikroskopem jemné a hrubé vlákno. Průměr vláken je důležitý parametr při hodnocení škrábavosti. Literatura udává, že je-li průměr vlákna větší než 21-30  $\mu\text{m}$ , tkanina je definovaná jako škrábající. Přesný průměr pro definici nebyl stanoven, jelikož není dosud vynalezena odpovídající měřicí objektivní metoda škrábavosti. Vypočtené hodnoty jsou v příloze 3.

### 2.2.5 Tloušťkoměr

Tloušťka tkanin byla měřena na vysoce moderním přístroji Digital thickness gauge MO34A. Přístroj je umístěn v laboratoři Textilního zkušebnictví na Ege univerzitě. Přítlak je nastaven na 200 gramů a velikost měřené plochy je 20  $\text{cm}^2$ . Tloušťka tkanin je v jednotkách milimetr. Každá tkanina byla proměřena na 10-ti různých místech, poté byl vypočten průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient, výsledky měření jsou v příloze 4. Přístroj je na obrázku 22.



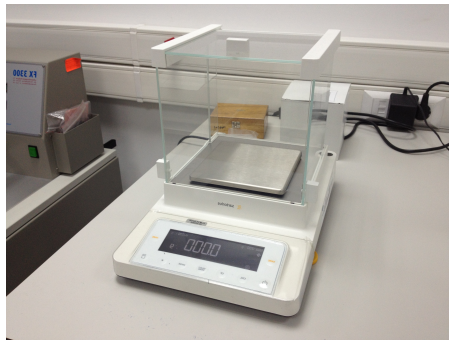
Obr.22: Tloušťkoměr v laboratoři na Ege univerzitě

### 2.2.6 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost byla měřena z každého vzorku 3 krát. Nejprve byl vyřezán kruh o ploše 100  $\text{cm}^2$ , poté byl kruh dán na váhy a zvážen. Řezací přístroj je na obrázku 23 (a) a váhy na 23 (b). Výsledky z měření jsou v příloze 5.



(a)

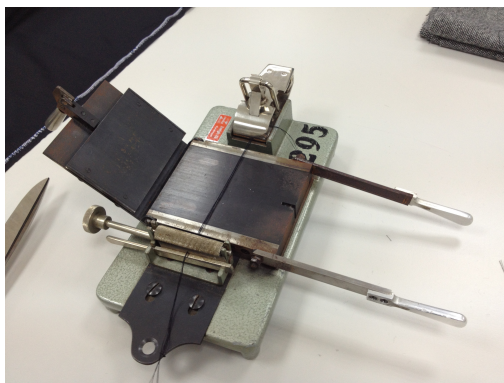


(b)

Obr.23: (a) Řezací přístroj (b) Váhy

### 2.2.7 Jemnost příze

Jednotlivé příze byly vypárány z osnovy a útku. 5 přízí bylo vždy uchyceno v přístroji, viz obr. 24, a přeříznuto nožem, aby se docílilo stejné délky. Každá příze měla 10 cm, v případě 5 ti kusů byla celková délka přízí 50cm. Příze byly pak zváženy. Pro každou tkaninu 3 vzorky z osnovy a 3 z útku.



Obr.24: Přístroj na řezání stejné délky nití

Poté bylo z délky, značeno  $l$ , a naměřené hmotnosti, značeno  $m$ , vypočítáno číslo metrické dle následující rovnice:

$$Nm = \frac{l}{m} [m/g] \quad (21)$$

Číslo metrické ( $Nm$ ) je délková jednotka  $[m/g]$ . Pro převod se použije následující vzorec, kde jsou známé jednotky tex:

$$T = \frac{1000}{Nm} [tex] \quad (22)$$

Naměřené hodnoty jsou v příloze 6.

### **2.2.8 Dostava**

Dostava byla měřena vždy v osnově a útku. Bylo provedeno vždy 5 měření na délce 5 centimetrů, vždy v osnově a útku. Pak byl vypočítán aritmetický průměr počtu přízí na 1 centimetr. Výsledky jsou v příloze 7.

## **2.3 Metodika subjektivního hodnocení**

Naměřené hodnoty škrábavosti s prototypem měřicí hlavice, musí být porovnány subjektivně, aby bylo zjištěno, jak měření odpovídá realitě. Subjektivního hodnocení se zúčastnilo 30 lidí, šlo zejména o akademické pracovníky a studenty Ege univerzity. Každá osoba měla stejné podmínky. Hodnotitelé postupně chodili do laboratoře se zavázanýma očima, aby nebyli ovlivněni zrakovým vjemem. Hodnotitelé používali k určení stupně škrábavosti své předloktí. Každé tkanině pak dali známku 1 až 5, kde 1 znamená hladká, neškrábavá tkanina. 5 bodů dali tkanině nejvíce škrábavé, pichlavé. Jde tedy o metodu známkování na 5-ti bodové stupnici. Výsledky jsou v příloze 8.

## **2.4 Podmínky měření**

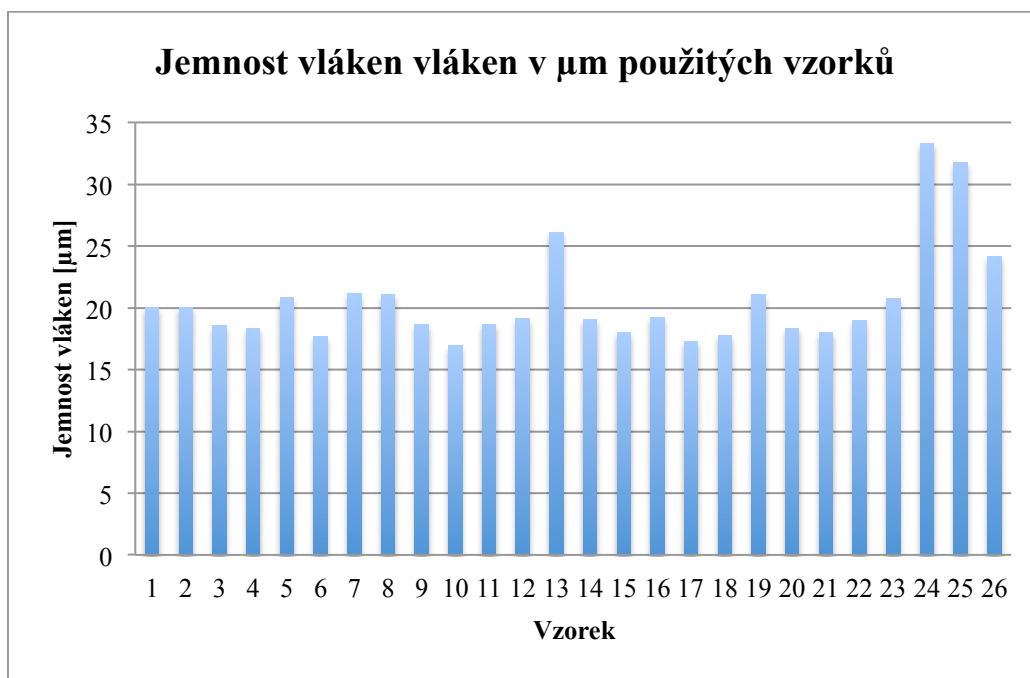
Podmínky v laboratoři Ege univerzity jsou stálé a konstantní. Teplota je nastavena na  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , a relativní vlhkost na  $60\% \pm 3\%$ . Vzorky byly po celou dobu pracovní stáže, tedy po celou dobu manipulace a měření vzorků v klimatizované laboratoři, kde byly umístěny všechny přístroje a provedena veškerá měření.

### 3 VÝSLEDKY A DISKUSE

V kapitole výsledky a diskuse je seznámení s vyhodnocenými výsledky měření v tabulkách, vztahy mezi výsledky jsou pro přehlednost zpracovány do grafů.

#### 3.1 Výsledky měření vláken v použitých tkaninách

Na grafu 1 je grafické znázornění jemnosti vláken u použitých vzorků. Jak lze vidět z grafu, hodnoty jemnosti jsou nejčastěji kolem 20  $\mu\text{m}$ . Hrubší vlákna jsou u tkaniny číslo 13, 24, 25 a 26. Tyto tkaniny také udávají trend dat v následujících grafech. Pro další měření je nutné použít i více hrubých tkanin s průměrem nad 30  $\mu\text{m}$ .

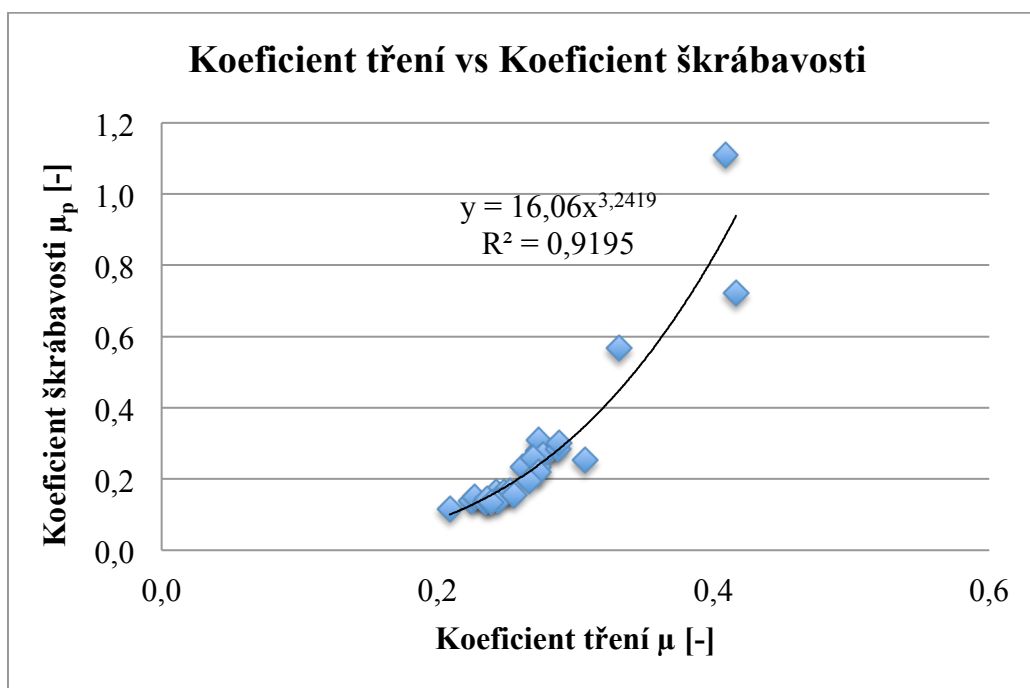


Graf 1: Jemnost vláken v  $\mu\text{m}$  použitých vzorků



### 3.2 Vztah mezi třením a škrábavostí

Tření a škrábavost spolu úzce souvisí. V simulaci tkaniny na pokožce dochází ke tření a také k ohybu vláken vyčnívajících z textilie způsobující pichlavost. V experimentu byl naměřen koeficient tření s hladkou hlavicí a koeficient škrábavosti  $\mu_p$  s prototypem měřicí hlavice, který zahrnuje složku tření a ohyb vláken. Vztah mezi koeficientem tření měřeným klasickou hladkou hlavicí Frictorq a škrábavostí naměřenou modifikovanou hlavicí se zuby ukazuje graf 2. Na grafu 2 je uvedena mocninná závislost mezi veličinami s koeficientem determinace 0,92 značící vysokou závislost.



Graf 2: Závislost koeficientu tření na koeficientu škrábavosti  $\mu_p$

Koeficient škrábavosti  $\mu_p$  obsahuje 2 složky – tření a škrábavost. Oddělení tření z koeficientu škrábavosti vede k získání rozdílového koeficientu škrábavosti  $\delta_p$ , viz následující rovnice:

$$\delta_p = \mu - \mu_p \quad (23)$$

Kde:

$\mu_p$  je koeficient škrábavosti [-]

$\mu$  je koeficient tření [-]

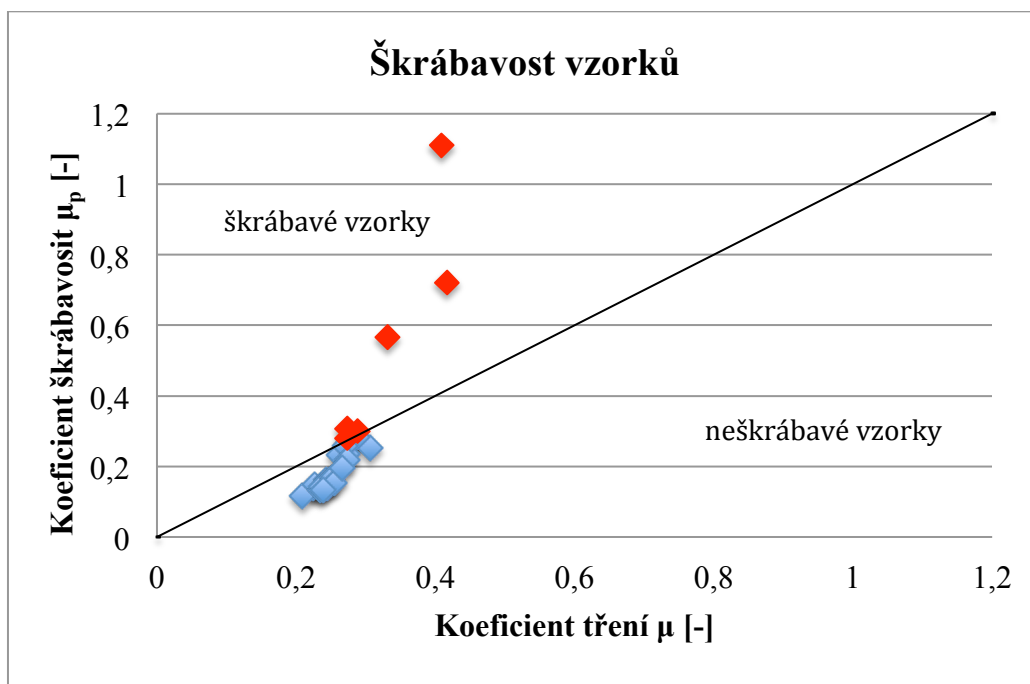
$\delta_p$  je rozdílový koeficient škrábavosti [-]

Tabulka 2 zobrazuje hodnoty rozdílového koeficientu škrábavosti  $\delta_p$ .

Tabulka 2: Hodnoty koeficientů

Vzorek	Koeficient škrábavosti $\mu_p$ [-]	Koeficient tření $\mu$ [-]	Koeficient škrábavosti $\delta_p$ [-]
1	0,1388	0,2245	-0,0857
2	0,1159	0,2089	-0,0930
3	0,1489	0,2268	-0,0779
4	0,2789	0,2810	-0,0021
5	0,2802	0,2730	0,0072
6	0,1624	0,2427	-0,0803
7	0,2530	0,3067	-0,0537
8	0,2350	0,2734	-0,0384
9	0,1334	0,2342	-0,1008
10	0,2322	0,2616	-0,0294
11	0,1622	0,2481	-0,0859
12	0,3076	0,2736	0,0340
13	0,7213	0,4165	0,3048
14	0,1423	0,2361	-0,0938
15	0,1398	0,2443	-0,1045
16	0,1667	0,2525	-0,0858
17	0,1550	0,2552	-0,1002
18	0,1344	0,2389	-0,1045
19	0,2695	0,2766	-0,0071
20	0,2829	0,2873	-0,0044
21	0,2581	0,2695	-0,0114
22	0,2179	0,2733	-0,0554
23	0,1952	0,2663	-0,0711
24	1,1101	0,4089	0,7012
25	0,5664	0,3312	0,2352
26	0,3003	0,2884	0,0119

Grafické vyjádření tabulky 1 zobrazuje graf 3, kde škrábavé vzorky jsou vyznačeny červenými body.



Graf 3: Škrábavé a neškrábavé vzorky

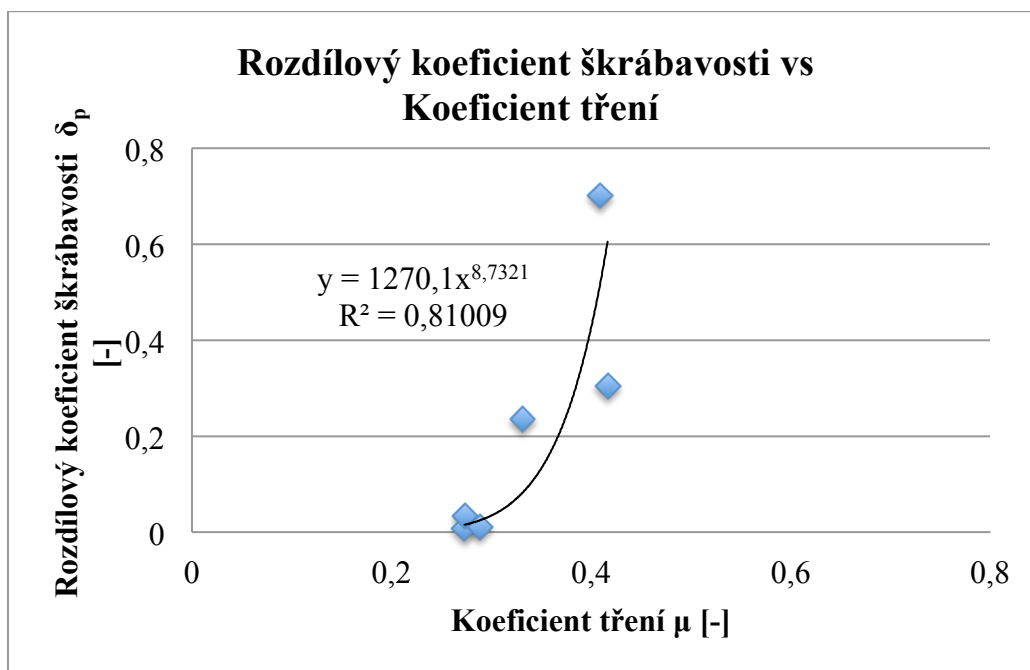
Při odečtení hodnot koeficientu škrábavosti od koeficientu tření vyšly výsledky převážně záporné. Otázka zní proč? Koeficient škrábavosti obsahuje tření a zprůměrované amplitudy způsobené vyčnívajícími vlákny, které měří prototyp hlavice. Důvodem jsou převážně hladké vzorky, ze kterých vyčnívá málo vláken a převážně jemných vláken. Jak je vidět, vzorky s hrubými vyčnívajícími vlákny mají rozdílový koeficient škrábavosti kladný. Kladný koeficient je u vzorku číslo 5,12,13,24,25 a 26. Při analýze tkanin s kladným rozdílovým koeficientem škrábavosti jde o tkaniny 13, 24, 25, 26, které mají průměr vláken 24 – 34  $\mu\text{m}$ . Tkaniny 5 a 12 mají průměr 19-20  $\mu\text{m}$ , při pohledu na tyto tkaniny jde o tkaniny počesané, tudíž obsahují mnohem více vyčnívajících vláken než ostatní tkaniny. Rozdílový koeficient škrábavosti je navíc velice malý, při zaokrouhlení téměř nulový. Tkaniny 13, 24 a 25 obsahují více než 5% vláken nad 30  $\mu\text{m}$ . Tkanina 26 obsahuje 2%. Ostatní tkaniny obsahují 0%, maximálně

1% vláken nad 30  $\mu\text{m}$ . Tkaniny s kladným koeficientem škrábavosti můžeme hodnotit jako škrábavé.

Průměr vláken není jediná veličina ovlivňující škrábavost. V úvahu je třeba vzít i délku vláken. Průměrná délka vláken zřejmě nebude rozhodující. Hlavní příčina bude délka vyčnívajících vláken.

Ohyb vláken a měření škrábavosti je velice složitá otázka. Vyčnívající vlákna nejsou nikdy stejně natočena, nikdy nejsou stejně dlouhá, a samozřejmě nemají stejný průměr. V případě vlny je variabilita průměru vlákna značná i jen na jediném vyčnívajícím vlákně. Je zřejmá i komplexnost měření ohybové tuhosti vláken. V případě měření na Frictorq s modifikovanou hlavicí, dochází k ohybu vláken a k tření mezi hlavicí a vlákny. Po vložení hlavice na tkaninu dojde k částečnému tlačení vláken vahou hlavice, což simuluje stlačení oděvu na pokožce.

Na grafu 4 je graf závislosti kladných hodnot rozdílového koeficientu škrábavosti a koeficientu tření. Byl nalezen mocninný vztah s koeficientem determinace 0,81.

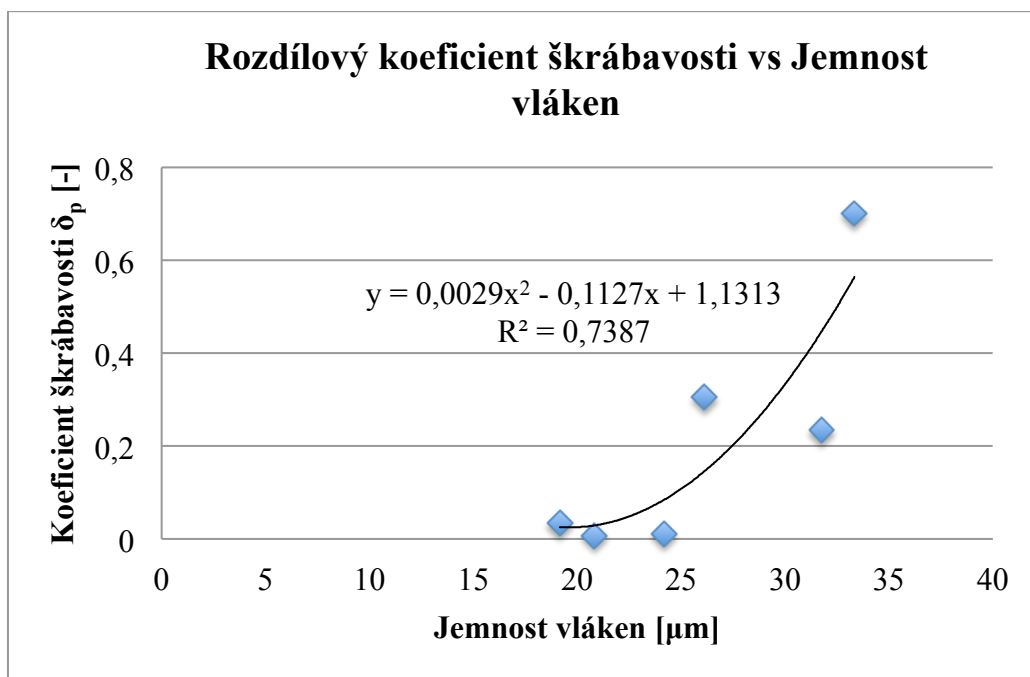


Graf 4: Koeficient tření vs rozdílový koeficient škrábavosti

### 3.3 Vztah mezi rozdílovým koeficientem škrábavosti $\delta_p$ a naměřenými vlastnostmi

Pro grafy byly vybrány pouze kladné hodnoty rozdílového koeficientu škrábavosti  $\delta_p$  [-], které jsou považovány za škrábavé. Vybrané hodnoty byly porovnány s parametry jako je tloušťka, jemnost vláken a dostava.

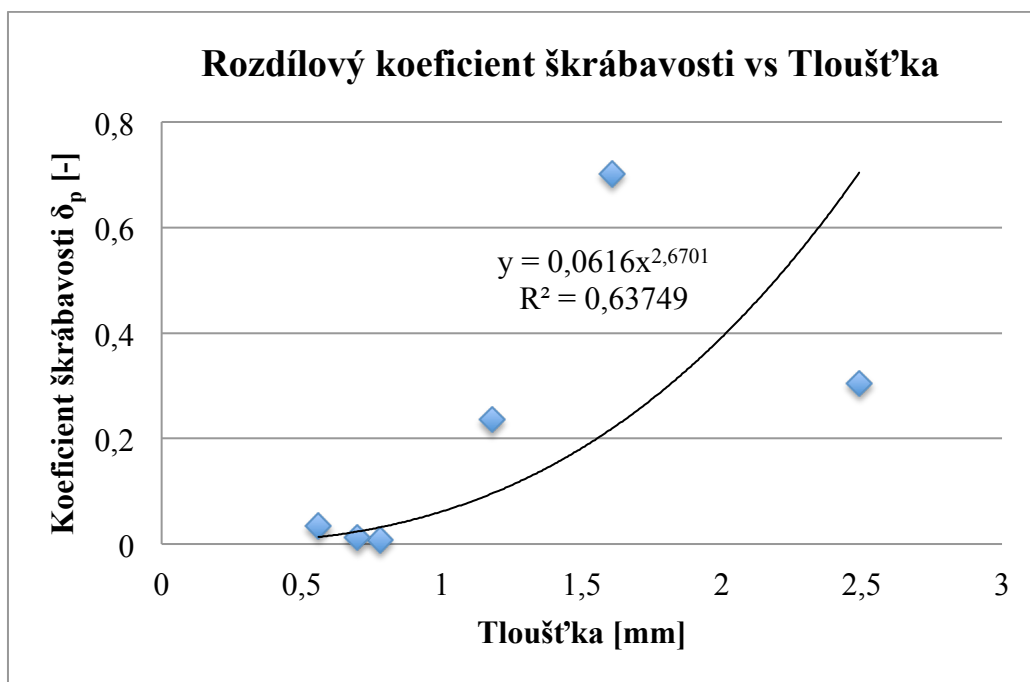
Na grafu 5 je graf závislosti rozdílového koeficientu škrábavosti na jemnosti vláken. Byl nalezen kvadratický vztah mezi koeficienty. Koeficient determinace je 0,73.



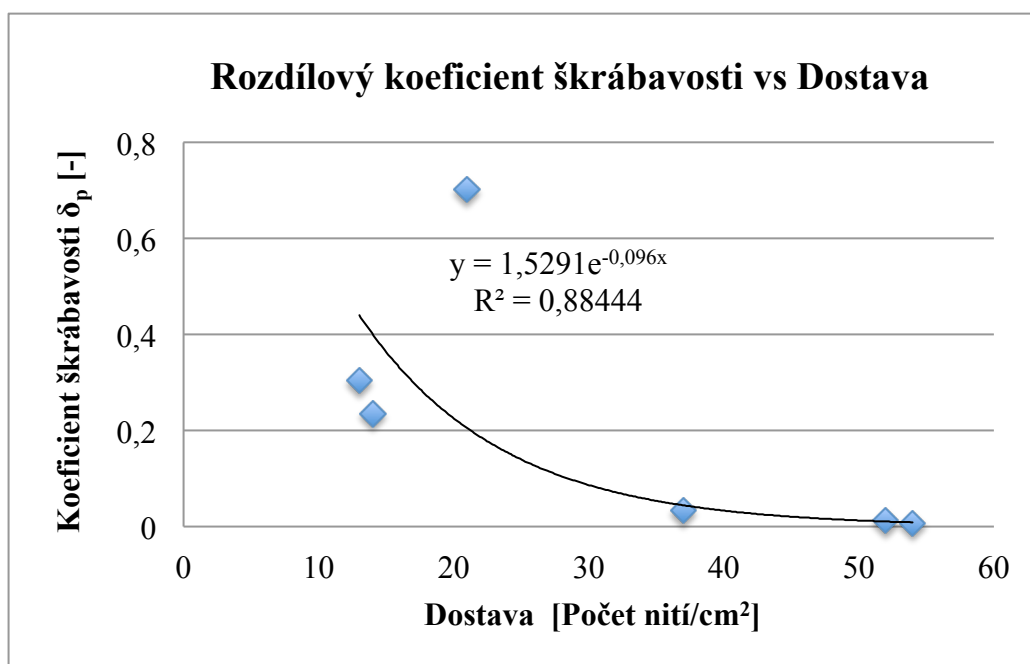
Graf 5: Závislost rozdílového koeficientu škrábavosti na jemnosti vláken

Na grafu 6 je uvedena závislost mezi rozdílovým koeficientem škrábavosti a tloušťkou, kde byl nalezen mocninný vztah s koeficientem determinace 0,63, který ukazuje ještě poměrně dobrou shodu.

Na grafu 7 je mocninný vztah mezi rozdílovým koeficientem škrábavosti a dostavou. Mezi veličinami byl nalezen mocninný vztah s vysokým koeficientem determinace 0,88.



Graf 6: Závislost koeficientu škrábavosti na tloušťce tkanin



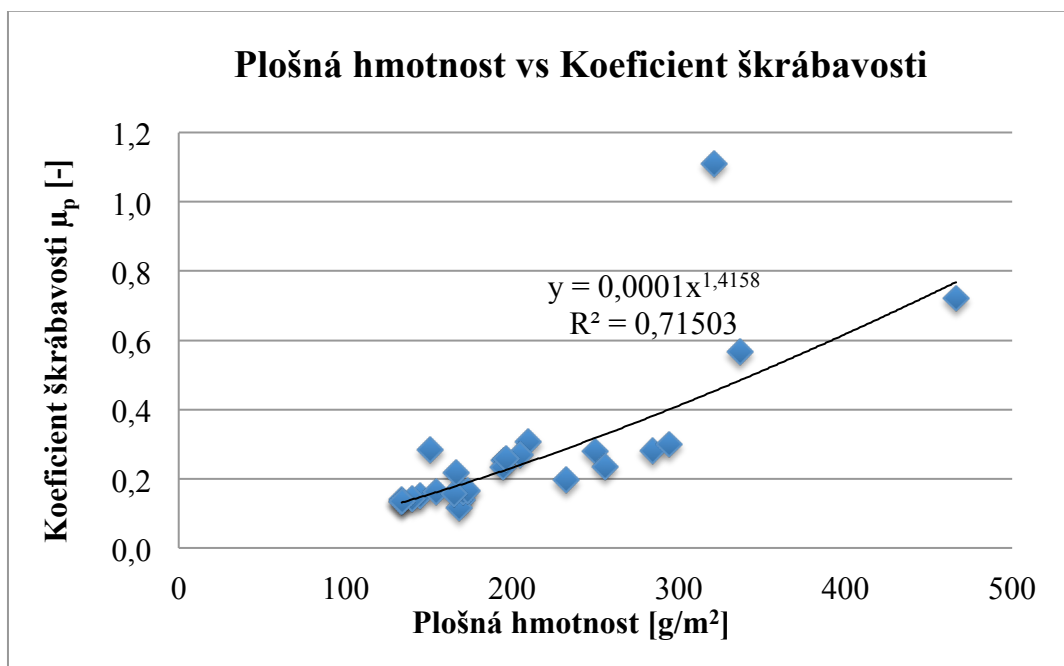
Graf 7: Závislost koeficientu škrábavosti na dostavě

Jak lze vidět z grafů, výsledky dobře korelují s koeficientem škrábavosti.

### 3.4 Vztah mezi koeficientem škrábavosti $\mu_p$ a naměřenými vlastnostmi

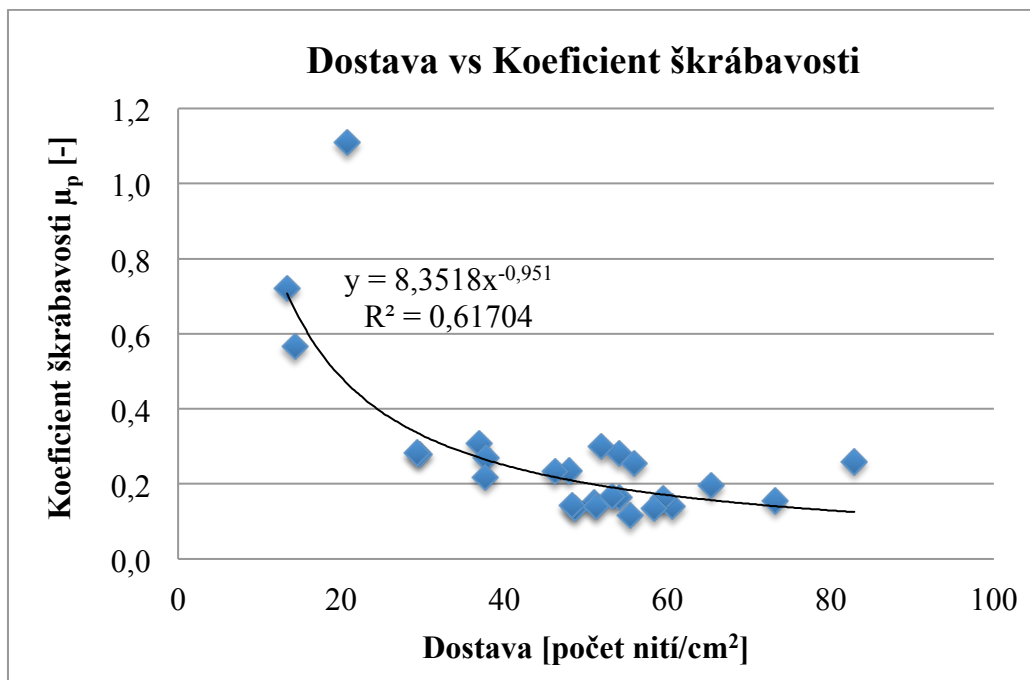
Naměřené vlastnosti tkanin byly porovnány s koeficientem škrábavosti  $\mu_p$  [-]. Porovnávané vlastnosti s koeficientem škrábavosti  $\mu_p$  jsou plošná hmotnost, tloušťka, průměr vláken, dostava a jemnost příze. Je zřejmé, že šíře vybraných tkanin je velká, tudíž některé tkaniny, zejména hrubé a rustikální, kterých je v měření méně než jemných tkanin, udávají trend dat.

Na grafu 8 je uveden mocninný vztah mezi plošnou hmotností a koeficientem škrábavosti  $\mu_p$ . Koeficient determinace je 0.71. Na grafu lze vidět jednu hodnotu, která silně vybočuje z trendu.



Graf 8: Závislost plošné hmotnosti a koeficientu škrábavosti

Na grafu 9 je vztah mezi dostavou, počtem nití na  $\text{cm}^2$ , a koeficientem škrábavosti. Mezi uvedenými veličinami je mocninná funkce, kde  $R^2$  je 0.61. Koeficient determinace je nižší, ale stále ukazuje dobrou shodu.

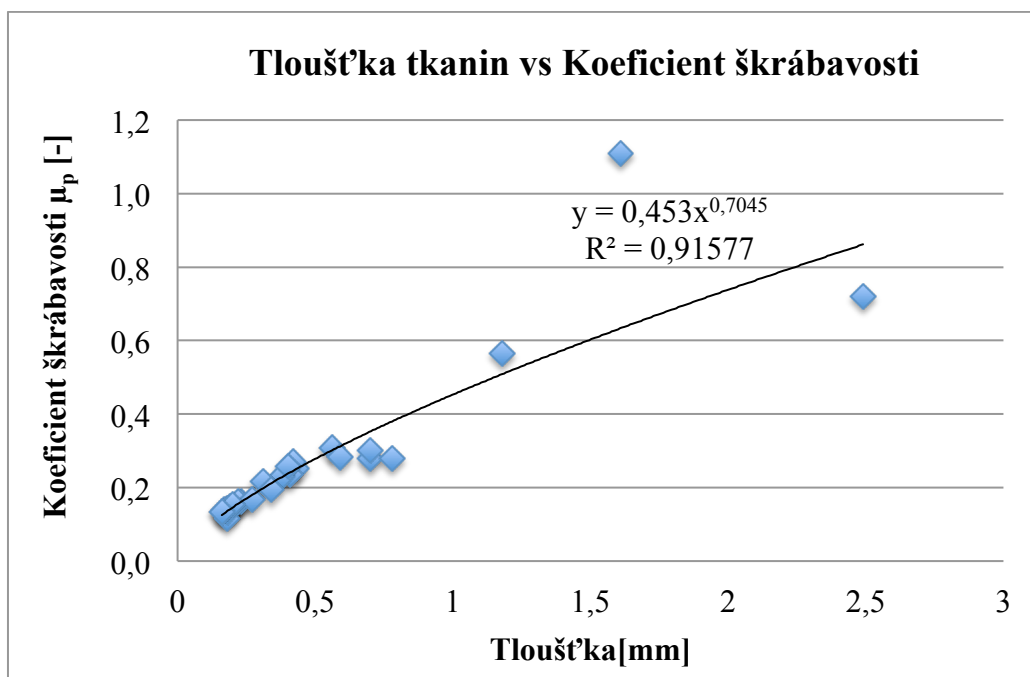


Graf 9: Závislost koeficientu škrábavosti na dostavě

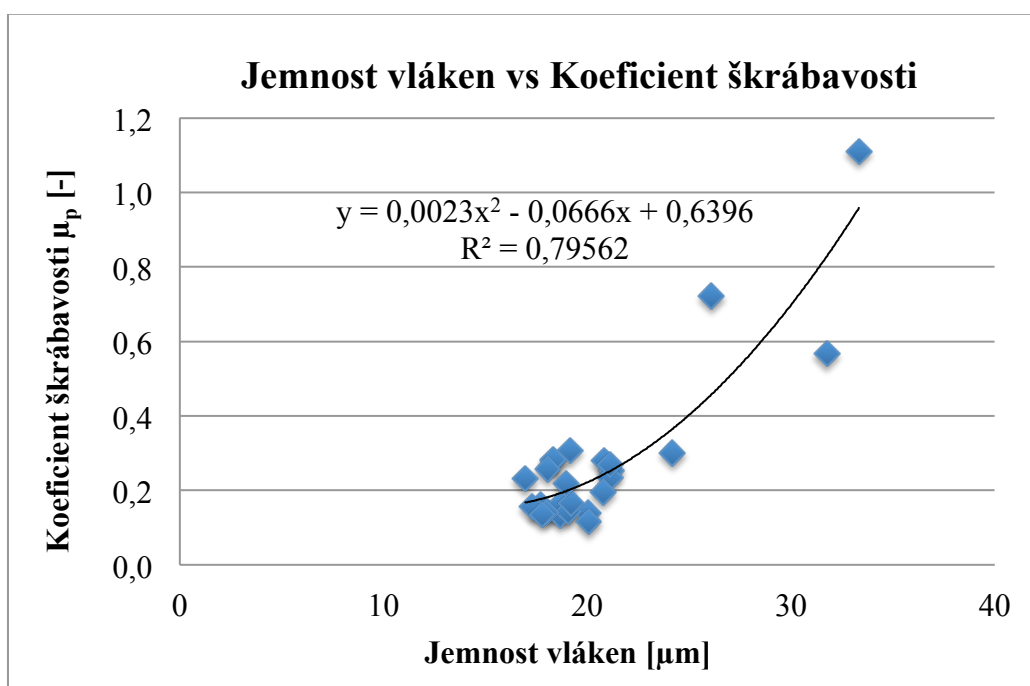
Na dalším grafu 10 je uveden mocninný vztah mezi tloušťkou tkanin a koeficientem škrábavosti. Vysoký koeficient determinace 0,91 ukazuje, že škrábavost je závislá na tloušťce tkanin.

Poslední sledovanou a nejdůležitější vlastností je průměr vláken. Průměr vláken je v literatuře zmiňován jako hlavní příčinou škrábavosti. U našeho experimentu byly použity tkaniny s různým průměrem vláken. Mezi koeficientem škrábavosti a průměrem vláken byla nalezena kvadratická funkce s koeficientem determinace 0,79, jak je zřejmé z grafu 11. Lze vidět, že pro experiment chybí data v pravé polovině souboru, tedy tkaniny s velkým průměrem vláken.



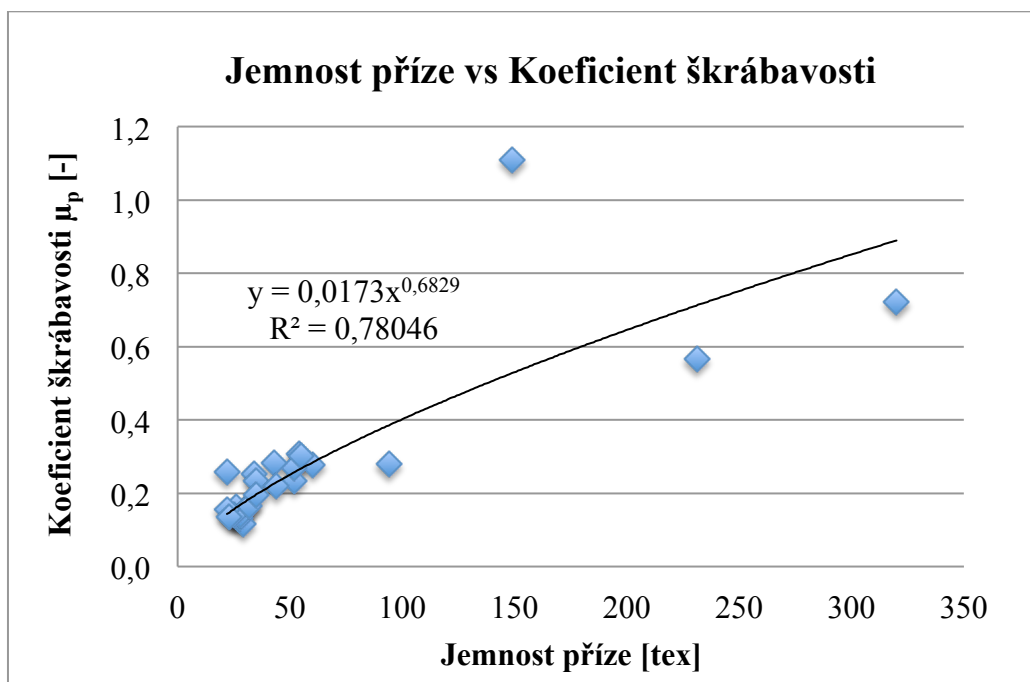


Graf 10: Koeficientu škrábavosti na tloušťce tkanin



Graf 11: Závislost průměru vláken na koeficientu škrábavosti

Na grafu 12 lze vidět vztah koeficientu škrábavosti na jemnosti příze. Byl nalezen exponenciální vztah s koeficientem determinace 0,78.

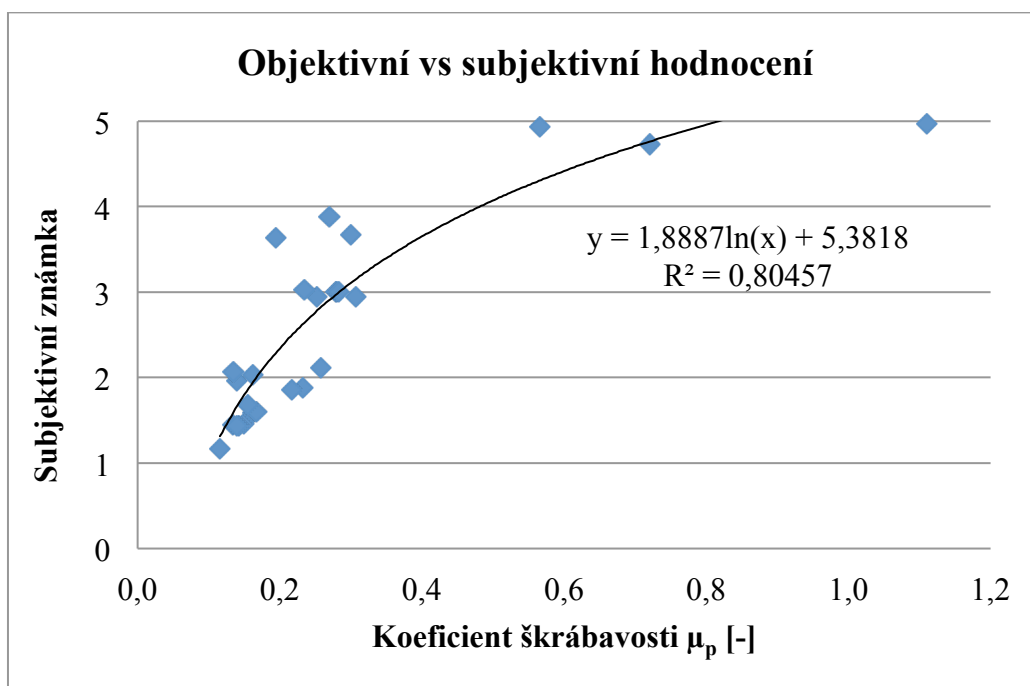


Graf 12: Jemnost příze a koeficient škrábavosti

Jak je zřejmé z grafů, parametry jako plošná hmotnost, dostava, tloušťka tkaniny, jemnost vláken a jemnost příze jsou závislé na koeficientu škrábavosti.

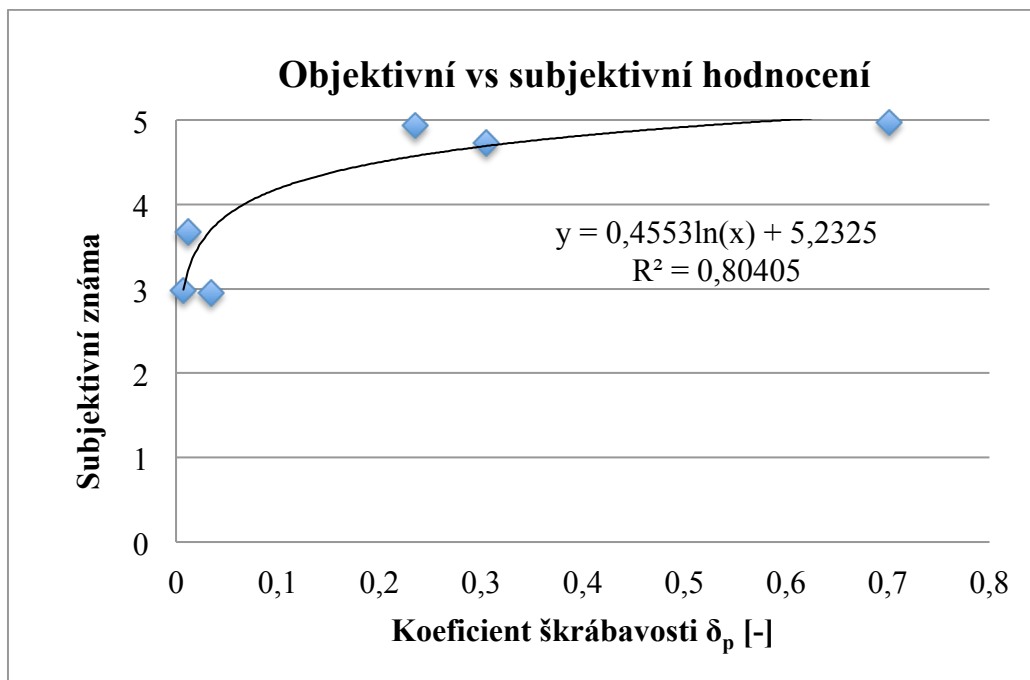
### 3.5 Porovnání objektivního a subjektivního hodnocení

Vztah mezi subjektivním a objektivním hodnocením je znázorněn na grafu 13. Byl nalezen logaritmicky závislý vztah mezi subjektivní známkou a koeficientem škrábavosti s koeficientem determinace 0,80. Vysoká hodnota koeficientu determinace ukazuje, že přístroj koresponduje se subjektivním hodnocením. Můžeme říci, že přístroj je vhodný k objektivnímu měření škrábavosti. Je však nutné provést měření na více hrubých tkaninách, které mají průměrnou hodnotu jemnosti vláken větší než 30  $\mu\text{m}$ .



Graf 13: Subjektivní hodnocení a koeficient škrábavosti

Na dalším grafu 14 je porovnání subjektivního a objektivního hodnocení pouze pro škrábavé tkaniny, kde koeficient škrábavosti  $\delta$  vyšel kladný. Opět byla nalezena logaritmická závislost s koeficientem determinace 0,80.



Graf 14: Subjektivní hodnocení a rozdílový koeficient škrábavosti

Další vlastností, která by měla být naměřena je délka vláken. Měření průměrné délky vláken je nevypovídající, jelikož škrábavost ovlivňují pouze vlákna vyčnívající z povrchu textilie. Až vyčnívající vlákna mohou reagovat na pokožku, a zejména délka právě těchto vyčnívajících vláken je důležitá. Vyčnívající vlákna z tkaniny ovlivňuje především chlupatost příze. Chlupatost je dána především z doprůdaciho procesu, kdy zejména mykané příze mají hodně vyčnívajících vláken, kdežto česané příze obsahují delší a urovnanější vlákna. Dlouhá vyčnívající vlákna se také lépe ohnou a neškrábají tolik, jako tuhá vyčnívající krátká vlákna. Dále je také důležité vzít v úvahu zakončení vláken. Škrábavost také bude záležet na tvaru zakončení vláken, kdy špičatý konec bude lépe prostupovat do pokožky.

## ZÁVĚR

Měření diplomové práce bylo provedeno v rámci pracovní stáže Erasmus na Ege univerzitě v Izmiru v Turecku. Cílem diplomové práce bylo prověřit základní princip prototypu měřicího přístroje na měření škrábavosti. Prototyp přístroje byl vyvinut ve spolupráci Textilní fakulty Technické univerzity v Liberci a Textilní fakulty Ege univerzity v Izmiru. Přístroj je umístěn na Ege univerzitě v Turecku v laboratoři textilního zkušebnictví. Nový prototyp hlavičky adaptovaný na FRICTORQ měří ohybovou tuhost vyčnívajících vláken. Měření je založeno na rotačním principu.

Pro experiment bylo použito 26 tkanin různého složení. Byla použita jednak 100% vlna, tak i vlna s příměsí polyesteru, polyamidu a hedvábí. Tkaniny byly analyzovány z hlediska strukturálních vlastností, tloušťky, tření a škrábavosti. U vláken použitých tkanin byla naměřena jemnost vláken, která významně ovlivňuje škrábavost. Další parametry, které ovlivňují škrábavost jako tloušťka, dostava, plošná hmotnost a jemnost příze byly porovnány s koeficientem škrábavosti a rozdílovým koeficientem škrábavosti. Rozdílový koeficient škrábavosti byl stanoven tak, že od koeficientu škrábavosti byl odečten koeficient tření. Kladný koeficient škrábavosti značí škrábavou tkaninu. Z 26-ti vzorků bylo celkem 6 škrábavých. Z 6-ti škrábavých tkanin mají 4 tkaniny průměr větší než 30  $\mu\text{m}$ , 2 tkaniny mají průměr 19-20  $\mu\text{m}$ , ale rozdílový koeficient škrábavosti je velice malý. Tyto 2 tkaniny jsou počesané, tudíž nízká škrábavost je způsobena vyčnívajícími vlákny.

Průměr vláken je důležitý parametr způsobující škrábavost. Dalším důležitým parametrem je délka vyčnívajících vláken. Dlouhé vyčnívající vlákno se lépe ohne a neprostoupí do pokožky jako krátké tuhé vlákno. Pro další měření škrábavosti je důležité změřit chlupatost příze a porovnat s koeficientem škrábavost.

Při měření škrábavosti modifikovanou hlavicí byly zaznamenány amplitudy zdůrazňující efekt vyčnívajících vláken. Bylo pracováno s průměrnými hodnotami. V úvahu byla také analýza výsledků pomocí Fourierovy transformace, kde by hlavní frekvence znázorňovala koeficient škrábavosti. Z důvodu průběžně se vyvíjejícího čidla

poskytujícího často nestabilní výsledky bylo rozhodnuto, že tyto více sofistikované postupy případně budou řešeny později, zaměřili jsme se hlavně na ověření základního principu. Podařilo se nám realizovat jen část našich záměrů, nejen důvodu cizího pracoviště a výzkumu v angličtině.

Byly porovnány subjektivní a objektivní výsledky, kde byla nalezena vysoká shoda. Přístroj s modifikovanou hlavicí může být použit pro objektivní hodnocení škrábavosti tkanin z živočišných vláken. Prototyp modifikované hlavice je potřeba materiálově zdokonalit, aby mohla být připravena pro další zkoušení a dále pro průmyslové užití.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hes, L.; Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. Liberec : [s.n.], 2005. 107 s
- [2] Das, A.: Science in clothing comfort. New Delhi: Woodhead Pub. India, 2010, 175 s. ISBN 18-456-9789-8.
- [3] Mihranyan, A; Ferraz, N; Strome M.: Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics. Progress in Materials Science. 2011, č. 5. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642511001046>
- [4] Pierce, F.T.: The handle of cloth as a measurable quality. Journal of the Textile Institute 21, pp- T377-416, 1930.
- [5] Interní norma č. 23-301-01/01. Omak tkanin: Metoda subjektivní. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002, 8 s. Dostupné z: [http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-301-01\\_01.pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-301-01_01.pdf)
- [6] LI, Y.: The science of clothing comfort. 31. vyd. Manchester, England: Textile Institute, 2001. ISBN 18-703-7224-7.
- [7] Garnsworthy, R.K.; Gully, R.L; Kenins, P.; Westermann, R.A.: Transcutaneous electrical stimulation and the sensation of prickle. Australia: Journal of Neurophysiology, 1988
- [8] Garnsworthy RK, Gully RL, Kandiah RP, Kenins P, Mayfield RJ and Westerman RA.: Understanding the causes of prickle and itch from skin contact of fabrics. CSIRO Division of Wool Technology Report, No 64, 1988. Also published in Australas Textil 1988; 8: 26–29.

- [9] Pierlot, T.: Managing Fabric Skin Comfort of Wool Fabrics. CSIRO [online]. 2008 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: [http://www.csiro.au/content/~media/CSIROau/Divisions/CSIRO%20Materials%20Science%20and%20Engineering/comfort\\_CMSE\\_PDF%20Standard.pdf](http://www.csiro.au/content/~media/CSIROau/Divisions/CSIRO%20Materials%20Science%20and%20Engineering/comfort_CMSE_PDF%20Standard.pdf)
- [10] Ramsay, D. J.; Fox, D. B.; Naylor, G. R.: An instrument for assessing fabric prickle propensity. Textile Research Journal[online]. 2012-02-21, roč. 82, č. 5, s. 513-520 [cit. 2012-02-13]. ISSN 0040-5175. DOI: 10.1177/0040517511427962. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0040517511427962>
- [11] Militký, J.; Vaníček, J.: Textilní zkušebnictví: Část IV a. [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20110511/zkt4\\_11.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20110511/zkt4_11.pdf)
- [12] He, W; Wang, X.: Mechanical behaviour of irregular fibers: part III: flexural buckling behaviour. Textil Res J 2002; 72: 573–578.
- [13] Shearcomfort [online]: Wool Natural Fibre. In: Canesis: Shear comfort [online]. [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: [http://www.shearcomfort.co.nz/wool\\_natural\\_fibre.pdf](http://www.shearcomfort.co.nz/wool_natural_fibre.pdf)
- [14] Hes, L; Marmarali, A; Özdil, N.: The effect of moisture on friction coefficient of elastic knitted fabrics. Tekstil ve konfeksiyon. 2008, s. 6. Dostupné z: <http://www.tekstilvekonfeksiyon.com/en/the-effect-of-moisture-on-friction-coefficient-of-elastic-knitted-fabrics-166.html>
- [15] Militký, J.: Vlastnosti vláken: Povrchové vlastnosti vláken, tření [online]. TU Liberec, 2000 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/zvt\\_p\\_6.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/zvt_p_6.pdf)
- [16] New Scientist: Scientist Solve Wool's Prickly Problem [online]. London: Reed Business Information, 1987 [cit. 2012-03-01]. ISBN 0262-4079. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=NG4rRJwZ0U0C>



- [17] Matsudaira, M.; Watt, J.D.; Carnaby, G.A.: Measurement of the surface prickle of fabrics. Part 2: Some effects of finishing on fabric prickle. Journal Textile Institute 1990; 81: 300–308.
- [18] Naylor, G. R. S.: Fabric-evoked Prickle in Worsted Spun Single Jersey Fabrics Part 4: Extension from Wool to OptimTMfine Fiber. Textile Research Journal [online]. 2010-03-29, roč. 80, č. 6, s. 537-547 [cit. 2012-05-01]. ISSN 0040-5175. DOI: 10.1177/0040517509337635. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0040517509337635>
- [19] Udakhe, J.: Development of Itch-Free Woollens to Be Worn Next To the Skin by Improvement of Surface Topography of Wool Fibres with the Help of Mechanical/Chemical Processing and Plasma Technology. Wool research association [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://www.wraindia.com/Jayant%20Udakhe.pdf>
- [20] Lima, M.: Frictorq® fabric friction tester. In: University of Minho [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: [http://www.2c2t.uminho.pt/\\_images/2c2t/projectos/ProjectosPDF/proj6.pdf](http://www.2c2t.uminho.pt/_images/2c2t/projectos/ProjectosPDF/proj6.pdf)
- [21] Lima, M.; Hes, L.: FRICTORQ, Accesing Fabric Friction with a Novel Fabric Surface Tester. AUTEX Research Journal 5.4 (2005). Repositorium University of Minho. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8835/1/Frictorq,%2520accessing%2520fabric%2520friction%2520with%2520a%2520novel%2520fabric%2520surface%2520tester.pdf>
- [22] Garnsworthy, R.K.; Gully, R.L.; Kenins, P.; Mayfield, R.J.; and Westerman, R.A.: Identification of the physical stimulus and neural basis of fabric-evoked prickle. Neurophysiology 1988; 59: 1083–1097.

## Seznam použitých symbolů

$F$	síla [N]
$E$	je Youngův modul pružnosti materiálu [Pa]
$d$	je průměr vlákna [m]
$l$	délka vyčnívajícího konce vlákna z povrchu [m]
$\alpha$	je úhel mezi vyčnívajícím vláknem a textilií [rad]
$I$	je moment setrvačnosti [m <sup>4</sup> ]
$M$	ohybový moment
$R$	poloměr křivosti vlákna [m]
$F_T$	síla působící proti pohybu tělesa [N]
$F_N$	normálová síla [N]
$\mu$	koeficient tření [-]
$\mu_p$	koeficient tření [-]
$\delta_p$	rozdílový koeficient tření [-]
$T$	kroutící moment [Nm]
$D$	vnější poloměr [m]
$d$	vnitřní poloměr [m]
$r$	variabilní poloměr [m]
$p$	přítlačná síla [Pa]
$k$	je počet intervalů
$n$	velikost souboru
$I$	velikost intervalu
$m$	hmotnost [kg]

## Seznam obrázků

Obr 1: Schématický obrázek lidské kůže [3] .....	12
Obr. 2: Časový průběh ztráty pocitu škrábavosti a dotyku [2] .....	16
Obr.3: Poloha nervových zakončení [9] .....	17
Obr.4: Deformace vlákna [10] .....	18
Obr 5: Šikmé vyčnívající vlákno z textilie [1].....	19
Obr.6: Vlněné vlákno [13] .....	22
Obr.7: Vlněné a polyesterové vlákno.....	23
Obr.8: Tření tělesa a textilie [15] .....	23
Obr.9: Prototyp přístroje [10] .....	26
Obr.10: Signál z měření [10].....	27
Obr.11: Subjektivní a objektivní hodnocení [10] .....	28
Obr.12: Spodní otáčivý disk Frictorq [20] .....	31
Obr.13: Výstup z měření .....	33
Obr.14: Frictorq na Ege Univerzitě.....	34
Obr.15: Schéma měřicí hlavice [21] .....	34
Obr.16: Měřicí hlavice .....	35
Obr.17: Prototyp měřicího senzoru na měření škrábavosti.....	36
Obr.18: Náčrt prototypu měřicí hlavice.....	36
Obr.19: Porovnání měření obou hlavic .....	37
Obr.20: Mikroskop Leica DM EP v laboratoři .....	38
Obr.21: Jemné vlákno (a) a hrubé vlákno(b) pod mikroskopem .....	39
Obr.22: Tloušťkoměr v laboratoři na Ege univerzitě.....	40
Obr.23: (a) Řezací přístroj (b) Váhy .....	41

Obr.24: Přístroj na řezání stejné délky nití .....	41
--	----

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti použitých tkanin .....	30
Tabulka 2: Hodnoty koeficientů .....	45

## Seznam grafů

Graf 1: Jemnost vláken v $\mu\text{m}$ použitých vzorků .....	43
Graf 2: Závislost koeficientu tření na koeficientu škrábavosti $\mu_p$ .....	44
Graf 3: Škrábavé a neškrábavé vzorky .....	46
Graf 4: Koeficient tření vs rozdílový koeficient škrábavosti .....	47
Graf 5: Závislost rozdílového koeficientu škrábavosti na jemnosti vláken .....	48
Graf 6: Závislost koeficientu škrábavosti na tloušťce tkanin .....	49
Graf 7: Závislost koeficientu škrábavosti na dostavě .....	49
Graf 8: Závislost plošné hmotnosti a koeficientu škrábavosti .....	50
Graf 9: Závislost koeficientu škrábavosti na dostavě .....	51
Graf 10: Koeficientu škrábavosti na tloušťce tkanin .....	52
Graf 11: Závislost průměru vláken na koeficientu škrábavosti .....	52
Graf 12: Jemnost příze a koeficient škrábavosti .....	53
Graf 13: Subjektivní hodnocení a koeficient škrábavosti .....	54
Graf 14: Subjektivní hodnocení a rozdílový koeficient škrábavosti .....	55

## Seznam příloh

Příloha 1: Koefficient tření.....	65
Příloha 2: Koefficient škrábavosti.....	66
Příloha 3: Jemnost vláken .....	67
Příloha 4: Tloušťka tkanin .....	69
Příloha 5: Plošná hmotnost tkanin .....	70
Příloha 6: Jemnost přízí .....	71
Příloha 7: Dostava.....	73
Příloha 8: Subjektivní hodnocení.....	77
Příloha 9: Vzorčky tkanin.....	78

**Příloha 1: Koeficient tření**

Vzorek	1	2	3	Průměr	Směr. Odch.	CV [%]
1	0,2213	0,2240	0,2283	0,2245	0,0029	0,0000
2	0,2119	0,2085	0,2062	0,2089	0,0023	0,0000
3	0,2093	0,2348	0,2364	0,2268	0,0124	0,0002
4	0,2833	0,2729	0,2867	0,2810	0,0059	0,0000
5	0,2780	0,2687	0,2723	0,2730	0,0038	0,0000
6	0,2402	0,2461	0,2417	0,2427	0,0025	0,0000
7	0,3001	0,3071	0,3130	0,3067	0,0053	0,0000
8	0,2740	0,2732	0,2729	0,2734	0,0005	0,0000
9	0,2443	0,2320	0,2262	0,2342	0,0075	0,0001
10	0,2631	0,2653	0,2565	0,2616	0,0037	0,0000
11	0,2482	0,2468	0,2494	0,2481	0,0011	0,0000
12	0,2664	0,2704	0,2841	0,2736	0,0076	0,0001
13	0,4180	0,4118	0,4197	0,4165	0,0034	0,0000
14	0,2414	0,2358	0,2310	0,2361	0,0042	0,0000
15	0,2471	0,2417	0,2440	0,2443	0,0022	0,0000
16	0,2551	0,2507	0,2518	0,2525	0,0019	0,0000
17	0,2527	0,2522	0,2607	0,2552	0,0039	0,0000
18	0,2375	0,2395	0,2396	0,2389	0,0010	0,0000
19	0,2755	0,2739	0,2803	0,2766	0,0027	0,0000
20	0,3029	0,2788	0,2803	0,2873	0,0110	0,0001
21	0,2672	0,2724	0,2690	0,2695	0,0022	0,0000
22	0,2664	0,2765	0,2769	0,2733	0,0049	0,0000
23	0,2664	0,2650	0,2672	0,2662	0,0009	0,0000
24	0,4096	0,4036	0,4135	0,4089	0,0041	0,0000
25	0,3318	0,3291	0,3327	0,3312	0,0015	0,0000
26	0,4524	0,4287	0,4622	0,4478	0,0141	0,0002

**Příloha 2: Koeficient škrábavosti**

Vzorek	1	2	3	Průměr	Směr. Odch.	CV [%]
1	0,1425	0,1395	0,1345	0,1388	0,0033	0,0000
2	0,1253	0,1033	0,1190	0,1159	0,0093	0,0001
3	0,1592	0,1394	0,1481	0,1489	0,0081	0,0001
4	0,2625	0,2825	0,2917	0,2789	0,0122	0,0001
5	0,2848	0,2683	0,2876	0,2802	0,0085	0,0001
6	0,1635	0,1641	0,1597	0,1624	0,0019	0,0000
7	0,2406	0,2664	0,2519	0,2530	0,0106	0,0001
8	0,2183	0,2445	0,2421	0,2350	0,0118	0,0001
9	0,1368	0,1330	0,1304	0,1334	0,0026	0,0000
10	0,2268	0,2282	0,2415	0,2322	0,0066	0,0000
11	0,1680	0,1623	0,1564	0,1622	0,0047	0,0000
12	0,2731	0,3384	0,3114	0,3076	0,0268	0,0007
13	0,5767	0,8156	0,7716	0,7213	0,1038	0,0108
14	0,1406	0,1493	0,1369	0,1423	0,0052	0,0000
15	0,1384	0,1402	0,1407	0,1398	0,0010	0,0000
16	0,1785	0,1547	0,1668	0,1667	0,0097	0,0001
17	0,1517	0,1449	0,1685	0,1550	0,0099	0,0001
18	0,1369	0,1329	0,1334	0,1344	0,0018	0,0000
19	0,2678	0,2602	0,2805	0,2695	0,0084	0,0001
20	0,2718	0,2788	0,2981	0,2829	0,0111	0,0001
21	0,2250	0,2634	0,2859	0,2581	0,0251	0,0006
22	0,2287	0,2304	0,1947	0,2179	0,0164	0,0003
23	0,2080	0,1951	0,1825	0,1952	0,0104	0,0001
24	1,3144	1,0608	0,9552	1,1101	0,1507	0,0227
25	0,4332	0,6870	0,5790	0,5664	0,1040	0,0108
27	0,3185	0,2962	0,2862	0,3003	0,0135	0,0002

**Příloha 3: Jemnost vláken**

OSNOVA Vzorek	Průměr [μm]	Rozptyl	Směr. Odch.	CV [%]
1	18,75	9,18	3,03	16,16
2	19,72	4,34	2,08	10,57
3	19,12	5,75	2,4	12,54
4	18,25	8,86	2,97	16,31
5	20,37	12,19	3,49	17,14
6	17,7	7,5	2,73	15,46
7	21,05	8,8	2,98	14,14
8	21,17	5,53	2,35	11,11
9	18,82	8,61	2,93	15,59
10	17,03	5,09	2,25	13,24
11	18,98	8,98	2,99	15,78
12	18,94	6,3	2,51	13,25
13	26,55	20,55	4,53	17,07
14	19,27	5,62	2,37	12,29
15	17,66	4,84	2,2	12,46
16	19,29	5,18	2,27	11,8
17	16,15	4,92	2,21	13,74
18	16,81	5,53	2,35	13,98
19	19,18	7,57	2,75	13,89
20	18,48	7,8	2,8	15,15
21	17,59	4,23	2,05	11,69
22	19,08	4,52	2,12	11,14
24	33,24	41,46	6,43	19,37
25	29,29	7,85	2,8	9,56
26	24,41	4,58	2,14	8,77



ÚTEK Vzorek	Průměr [ $\mu\text{m}$ ]	Rozptyl	Směr. Odch.	CV [%]
1	21,3	8,04	2,84	13,31
2	20,39	12,16	3,49	17,1
3	18,1	6,32	2,51	13,9
4	18,44	8,9	2,98	16,2
5	21,29	3,06	1,75	8,2
6	17,7	5,52	2,35	13,27
7	21,35	11,82	3,4	16,1
8	21,06	12,9	3,6	17,07
9	18,54	4	2	10,79
10	16,86	7,1	2,67	15,81
11	18,33	2,92	1,7	9,32
12	19,37	7,85	2,8	14,46
13	25,66	23,27	4,82	18,8
14	18,85	7,34	2,7	14,37
15	18,34	7,57	2,75	15,01
16	19,12	3,87	1,96	10,28
17	18,46	4,2	2,04	11,1
18	18,74	7,38	2,71	14,5
19	23,03	1,74	1,31	5,72
20	18,19	12,64	3,55	19,54
21	18,51	7,2	2,68	14,49
22	18,88	8,54	2,92	15,47
24	33,43	18,91	4,34	13
25	34,21	7,25	2,69	7,87
26	23,96	5,97	2,44	10,2

**Příloha 4: Tloušťka tkanin**

Kód tkaniny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Směr. Odch.	CV [%]
1	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,00	1,66
2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,00	2,73
3	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,00	2,48
4	0,70	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,70	0,01	0,90
5	0,77	0,76	0,75	0,77	0,80	0,78	0,77	0,81	0,77	0,80	0,78	0,02	2,48
6	0,22	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,01	2,48
7	0,42	0,44	0,44	0,43	0,42	0,42	0,43	0,42	0,43	0,42	0,43	0,01	1,93
8	0,42	0,42	0,41	0,40	0,42	0,41	0,40	0,41	0,42	0,42	0,41	0,01	1,99
9	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,00	2,64
10	0,39	0,36	0,37	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,01	2,18
11	0,21	0,22	0,22	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,01	2,85
12	0,54	0,52	0,57	0,55	0,57	0,63	0,57	0,54	0,54	0,55	0,56	0,03	5,40
13	2,46	2,51	2,46	2,51	2,56	2,42	2,51	2,42	2,53	2,47	2,49	0,05	1,87
14	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,18	0,01	2,93
15	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,01	3,11
16	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,26	0,28	0,28	0,27	0,27	0,01	3,63
17	0,20	0,22	0,19	0,20	0,19	0,21	0,19	0,21	0,21	0,19	0,20	0,01	5,48
18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,01	4,00
19	0,42	0,43	0,45	0,42	0,40	0,40	0,40	0,42	0,43	0,43	0,42	0,02	3,89
20	0,60	0,58	0,58	0,58	0,61	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,59	0,01	1,69
21	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,40	0,01	1,57
22	0,30	0,34	0,29	0,33	0,35	0,36	0,30	0,28	0,29	0,30	0,31	0,03	9,03
23	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,37	0,32	0,34	0,33	0,35	0,34	0,01	3,77
24	1,63	1,60	1,58	1,63	1,62	1,63	1,63	1,59	1,58	1,58	1,61	0,02	1,44
25	1,16	1,29	1,19	1,15	1,13	1,22	1,15	1,20	1,15	1,19	1,18	0,05	3,97
26	3,49	3,47	3,62	3,67	3,72	3,56	3,62	3,55	3,69	3,70	3,61	0,09	2,45

**Příloha 5: Plošná hmotnost tkanin**

Kód tkaniny	Měření 1 [g/m <sup>2</sup> ]	Měření 2 [g/m <sup>2</sup> ]	Měření 3 [g/m <sup>2</sup> ]	Průměr [g/m <sup>2</sup> ]	Směr. odchylka	CV [%]
1	170,5	170,4	170,4	170,4	0,05	0,00
2	168,7	168,9	167,7	168,4	0,52	0,28
3	146,1	144,7	144,1	145,0	0,84	0,70
4	250,6	248,6	249,7	249,6	0,82	0,67
5	284,7	285,3	282,5	284,2	1,20	1,45
6	170,5	171,3	170,1	170,6	0,50	0,25
7	196,3	194,9	194,8	195,3	0,68	0,47
8	256,1	255,3	256,4	255,9	0,46	0,22
9	134	133,5	133,4	133,6	0,26	0,07
10	194,6	195,6	193,6	194,6	0,82	0,67
11	152,4	155,2	155,9	154,5	1,51	2,29
12	209,1	210,1	210,3	209,8	0,52	0,28
13	458,8	472,9	467,5	466,4	5,81	33,74
14	140	139,7	141,2	140,3	0,65	0,42
15	134,5	132,5	133,8	133,6	0,83	0,69
16	173,1	170,7	175,8	173,2	2,08	4,34
17	165,4	165,5	165,4	165,4	0,05	0,00
18	133,8	134,1	134,7	134,2	0,37	0,14
19	205	203,9	205,9	204,9	0,82	0,67
20	152,4	148	152,2	150,9	2,03	4,12
21	197,8	195,2	195,8	196,3	1,11	1,24
22	167,6	165,4	166,5	166,5	0,90	0,81
23	233,8	232,4	230,9	232,4	1,18	1,40
24	321	324,6	317,6	321,1	2,86	8,17
25	336,6	333,4	339,5	336,5	2,49	6,21
26	526,9	525,9	538,2	530,3	5,58	31,11

**Příloha 6: Jemnost přízí**

Kód tkaniny	Osnova/ útek	1	2	3	Průměr [mg]	1[mg] = 0,001 [g]	Nm= l/m [m/g]	T= 1000/Nm [tex]
1	osnova	12,40	13,01	13,10	12,84	0,01284	39	26
	útek	12,87	12,81	12,45	12,71	0,01271	39	25
2	osnova	13,29	14,22	13,89	13,80	0,01380	36	28
	útek	14,44	15,00	15,75	15,06	0,01506	33	30
3	osnova	13,24	14,11	13,31	13,55	0,01355	37	27
	útek	14,48	14,38	13,95	14,27	0,01427	35	29
4	osnova	29,69	29,34	28,38	29,14	0,02914	17	58
	útek	32,78	29,39	29,52	30,56	0,03056	16	61
5	osnova	44,01	49,33	46,50	46,61	0,04661	11	93
	útek	48,28	45,90	46,63	46,94	0,04694	11	94
6	osnova	15,01	15,04	16,02	15,36	0,01536	33	31
	útek	15,78	16,68	15,63	16,03	0,01603	31	32
7	osnova	18,68	19,66	19,04	19,13	0,01913	26	38
	útek	14,83	14,98	13,38	14,40	0,01440	35	29
8	osnova	25,89	25,82	26,36	26,02	0,02602	19	52
	útek	26,29	25,85	26,02	26,05	0,02605	19	52
9	osnova	16,27	13,84	13,86	14,66	0,01466	34	29
	útek	12,56	12,97	14,04	13,19	0,01319	38	26
10	osnova	18,51	16,21	17,73	17,48	0,01748	29	35
	útek	17,97	15,86	18,78	17,54	0,01754	29	35
11	osnova	16,56	14,50	15,04	15,37	0,01537	33	31
	útek	11,09	10,60	10,91	10,87	0,01087	46	22
12	osnova	22,91	25,22	26,33	24,82	0,02482	20	50
	útek	27,45	30,80	29,21	29,15	0,02915	17	58
13	osnova	168,41	172,50	171,97	170,96	0,17096	3	342
	útek	148,55	148,08	151,10	149,24	0,14924	3	298
14	osnova	15,86	14,13	15,31	15,10	0,01510	33	30
	útek	13,49	13,06	12,00	12,85	0,01285	39	26
15	osnova	14,43	15,79	15,10	15,11	0,01511	33	30
	útek	9,56	9,17	9,65	9,46	0,00946	53	19
16	osnova	15,08	14,57	14,00	14,55	0,01455	34	29
	útek	18,35	18,58	16,42	17,78	0,01778	28	36
17	osnova	11,53	11,35	13,08	11,99	0,01199	42	24
	útek	9,46	9,51	10,59	9,85	0,00985	51	20
18	osnova	13,17	12,45	12,80	12,81	0,01281	39	26
	útek	10,27	10,42	10,67	10,45	0,01045	48	21
19	osnova	43,57	44,95	44,67	44,40	0,04440	11	89
	útek	8,25	7,43	8,15	7,94	0,00794	63	16
20	osnova	21,06	23,04	21,35	21,82	0,02182	23	44
	útek	23,85	20,44	20,02	21,44	0,02144	23	43

Kód tkaniny	Osnova/ útek	1	2	3	Průměr [mg]	l[mg] = 0,001 [g]	Nm= l/m [m/g]	T= 1000/Nm [tex]
21	osnova	12,44	14,00	13,45	13,30	0,01330	38	27
	útek	9,33	9,89	7,84	9,02	0,00902	55	18
22	osnova	21,94	21,34	22,08	21,79	0,02179	23	44
	útek	22,74	21,74	22,22	22,23	0,02223	22	44
23	osnova	18,12	16,33	17,90	17,45	0,01745	29	35
	útek	19,21	16,65	17,73	17,86	0,01786	28	36
24	osnova	77,65	76,49	80,16	78,10	0,07810	6	156
	útek	71,18	72,40	69,30	70,96	0,07096	7	142
25	osnova	138,41	124,15	136,31	132,96	0,13296	4	266
	útek	95,69	98,49	99,61	97,93	0,09793	5	196
26	osnova	29,66	28,43	30,29	29,46	0,02946	17	59
	útek	25,03	24,85	25,55	25,14	0,02514	20	50

**Příloha 7: Dostava**

	Osnova	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odch.	Var. koef [%]
Vzorek 1	Počet nití/5cm	170	168	168	170	169	169,0	0,89	0,80
	Počet nití/1cm	34	33,6	33,6	34	33,8	33,8	0,18	0,03
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	135	133	128	138	137	134,2	3,54	12,56
	Počet nití/1cm	27	26,6	25,6	27,6	27,4	26,8	0,71	0,50
Vzorek 2	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	155	153	149	151	147	151,0	2,83	8,00
	Počet nití/1cm	31	30,6	29,8	30,2	29,4	30,2	0,57	0,32
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	127	122	124	126	130	125,8	2,71	7,36
	Počet nití/1cm	25,4	24,4	24,8	25,2	26	25,2	0,54	0,29
Vzorek 3	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	138	135	134	139	135	136,2	1,94	3,76
	Počet nití/1cm	27,6	27	26,8	27,8	27	27,2	0,39	0,15
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	118	120	118	120	119	119,0	0,89	0,80
	Počet nití/1cm	23,6	24	23,6	24	23,8	23,8	0,18	0,03
Vzorek 4	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	95	96	95	96	96	95,6	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	19	19,2	19	19,2	19,2	19,1	0,10	0,01
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	96	95	94	95	95	95,0	0,63	0,40
	Počet nití/1cm	19,2	19	18,8	19	19	19,0	0,13	0,02
Vzorek 5	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	77	78	76	76	75	76,4	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	15,4	15,6	15,2	15,2	15	15,3	0,20	0,04
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	72	70	72	72	72	71,6	0,80	0,64
	Počet nití/1cm	14,4	14	14,4	14,4	14,4	14,3	0,16	0,03
Vzorek 6	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	139	140	143	142	143	141,4	1,62	2,64
	Počet nití/1cm	27,8	28	28,6	28,4	28,6	28,3	0,32	0,11
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	127	130	127	128	130	128,4	1,36	1,84
	Počet nití/1cm	25,4	26	25,4	25,6	26	25,7	0,27	0,07

Vzorek	Osnova	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odch.	Var. koef [%]
	Počet nití/5cm								
Vzorek 7	Počet nití/1cm	146	143	144	144	145	144,4	1,02	1,04
	Útek	29,2	28,6	28,8	28,8	29	28,9	0,20	0,04
	Počet nití/5cm	1	2	3	4	5			
	Počet nití/1cm	132	135	135	136	136	134,8	1,47	2,16
	Útek	26,4	27	27	27,2	27,2	27,0	0,29	0,09
	Počet nití/1cm								
Vzorek 8	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	123	122	123	122	121	122,2	0,75	0,56
	Počet nití/1cm	24,6	24,4	24,6	24,4	24,2	24,4	0,15	0,02
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	120	116	117	117	117	117,4	1,36	1,84
	Počet nití/1cm	24	23,2	23,4	23,4	23,4	23,5	0,27	0,07
Vzorek 9	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	123	123	121	125	122	122,8	1,33	1,76
	Počet nití/1cm	24,6	24,6	24,2	25	24,4	24,6	0,27	0,07
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	121	119	121	122	120	120,6	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	24,2	23,8	24,2	24,4	24	24,1	0,20	0,04
Vzorek 10	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	120	120	123	123	124	122,0	1,67	2,80
	Počet nití/1cm	24	24	24,6	24,6	24,8	24,4	0,33	0,11
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	114	113	117	113	114	114,2	1,47	2,16
	Počet nití/1cm	22,8	22,6	23,4	22,6	22,8	22,8	0,29	0,09
Vzorek 11	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	145	149	146	144	146	146,0	1,67	2,80
	Počet nití/1cm	29	29,8	29,2	28,8	29,2	29,2	0,33	0,11
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	153	153	150	151	151	151,6	1,20	1,44
	Počet nití/1cm	30,6	30,6	30	30,2	30,2	30,3	0,24	0,06
Vzorek 12	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	94	94	95	96	94	94,6	0,80	0,64
	Počet nití/1cm	18,8	18,8	19	19,2	18,8	18,9	0,16	0,03
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	89	91	89	91	89	89,8	0,98	0,96
	Počet nití/1cm	17,8	18,2	17,8	18,2	17,8	18,0	0,20	0,04
Vzorek 13	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	34	35	36	36	36	35,4	0,80	0,64
	Počet nití/1cm	6,8	7	7,2	7,2	7,2	7,1	0,16	0,03
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	32	32	32	31	31	31,6	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	6,4	6,4	6,4	6,2	6,2	6,3	0,10	0,01

	Osnova	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odch.	Var. koef [%]
Vzorek 14	Počet nití/5cm	121	121	123	121	122	121,6	0,80	0,64
	Počet nití/1cm	24,2	24,2	24,6	24,2	24,4	24,3	0,16	0,03
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	121	122	119	119	120	120,2	1,17	1,36
	Počet nití/1cm	24,2	24,4	23,8	23,8	24	24,0	0,23	0,05
Vzorek 15	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	119	122	121	121	120	120,6	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	23,8	24,4	24,2	24,2	24	24,1	0,20	0,04
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	136	137	135	136	135	135,8	0,75	0,56
	Počet nití/1cm	27,2	27,4	27	27,2	27	27,2	0,15	0,02
Vzorek 16	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	152	152	152	151	151	151,6	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	30,4	30,4	30,4	30,2	30,2	30,3	0,10	0,01
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	114	115	114	114	115	114,4	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	22,8	23	22,8	22,8	23	22,9	0,10	0,01
Vzorek 17	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	196	198	194	195	198	196,2	1,60	2,56
	Počet nití/1cm	39,2	39,6	38,8	39	39,6	39,2	0,32	0,10
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	171	169	171	171	168	170,0	1,26	1,60
	Počet nití/1cm	34,2	33,8	34,2	34,2	33,6	34,0	0,25	0,06
Vzorek 18	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	133	131	133	131	131	131,8	0,98	0,96
	Počet nití/1cm	26,6	26,2	26,6	26,2	26,2	26,4	0,20	0,04
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	159	158	161	159	160	159,4	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	31,8	31,6	32,2	31,8	32	31,9	0,20	0,04
Vzorek 19	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	94	93	91	93	91	92,4	1,20	1,44
	Počet nití/1cm	18,8	18,6	18,2	18,6	18,2	18,5	0,24	0,06
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	95	97	98	95	97	96,4	1,20	1,44
	Počet nití/1cm	19	19,4	19,6	19	19,4	19,3	0,24	0,06
Vzorek 20	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	77	75	75	74	76	75,4	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	15,4	15	15	14,8	15,2	15,1	0,20	0,04
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	74	70	71	70	71	71,2	1,47	2,16
	Počet nití/1cm	14,8	14	14,2	14	14,2	14,2	0,29	0,09



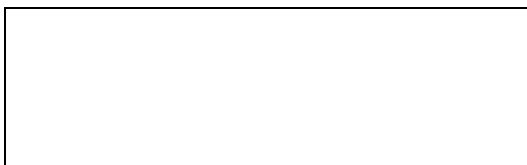
	Osnova	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odch.	Var. koef [%]
Vzorek 21	Počet nití/5cm	213	207	215	211	212	211,6	2,65	7,04
	Počet nití/1cm	42,6	41,4	43	42,2	42,4	42,3	0,53	0,28
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	204	201	201	205	204	203,0	1,67	2,80
	Počet nití/1cm	40,8	40,2	40,2	41	40,8	40,6	0,33	0,11
Vzorek 22	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	99	99	101	99	100	99,6	0,80	0,64
	Počet nití/1cm	19,8	19,8	20,2	19,8	20	19,9	0,16	0,03
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	90	89	88	90	89	89,2	0,75	0,56
	Počet nití/1cm	18	17,8	17,6	18	17,8	17,8	0,15	0,02
Vzorek 23	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	172	172	172	171	172	171,8	0,40	0,16
	Počet nití/1cm	34,4	34,4	34,4	34,2	34,4	34,4	0,08	0,01
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	155	153	156	155	154	154,6	1,02	1,04
	Počet nití/1cm	31	30,6	31,2	31	30,8	30,9	0,20	0,04
Vzorek 24	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	54	53	53	54	54	53,6	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	10,8	10,6	10,6	10,8	10,8	10,7	0,10	0,01
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	50	50	51	50	50	50,2	0,40	0,16
	Počet nití/1cm	10	10	10,2	10	10	10,0	0,08	0,01
Vzorek 25	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	34	34	34	35	35	34,4	0,49	0,24
	Počet nití/1cm	6,8	6,8	6,8	7	7	6,9	0,10	0,01
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	37	37	36	38	38	37,2	0,75	0,56
	Počet nití/1cm	7,4	7,4	7,2	7,6	7,6	7,4	0,15	0,02
Vzorek 26	Osnova	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	17	16	1	16	16	13,2	6,11	37,36
	Počet nití/1cm	3,4	3,2	0,2	3,2	3,2	2,6	1,22	1,49
	Útek	1	2	3	4	5			
	Počet nití/5cm	15	15	15	15	15	15,0	0,00	0,00
	Počet nití/1cm	3	3	3	3	3	3,0	0,00	0,00

**Příloha 8: Subjektivní hodnocení**

Vzorek	Průměr	Směr.odch.	Var.koef. [%]	95% IS
1	1,97	0,64	33	<1.74 ; 2.20>
2	1,17	0,25	30	<1.08 ; 1.26>
3	1,47	0,48	33	<1.30 ; 1.64>
4	3	0,91	30	<2.67 ; 3.33>
5	2,98	0,7	23	<2.73 ; 3.23>
6	1,58	0,58	37	<1.37 ; 1.79>
7	2,95	0,7	24	<2.70 ; 3.20>
8	3,03	0,56	19	<2.83 ; 3.23>
9	1,45	0,47	33	<1.28 ; 1.62>
10	1,88	0,59	31	<1.67 ; 2.09>
11	2,03	0,56	28	<1.83 ; 2.23>
12	2,95	0,76	26	<2.68 ; 3.22>
13	4,73	0,44	9	<3.22 ; 4.89>
14	1,43	0,51	36	<1.25 ; 1.61>
15	1,43	0,51	36	<1.25 ; 1.61>
16	1,6	0,57	36	<1.40 ; 1.80>
17	1,68	0,54	32	<1.49 ; 1.87>
18	2,07	0,65	32	<1.84 ; 2.30>
19	3,88	0,81	21	<3.59 ; 4.17>
20	3	0,68	23	<2.76 ; 3.24>
21	2,12	0,63	30	<1.89 ; 2.35>
22	1,85	0,71	38	<1.60 ; 2.10>
23	3,63	0,83	23	<3.33 ; 2.93>
24	4,97	0,18	4	<4.91 ; 5.03>
25	4,93	0,25	5	<4.84 ; 5.02>
26	3,67	0,88	24	<3.98 ; 3.36>

**Příloha 9: Vzorky tkanin**

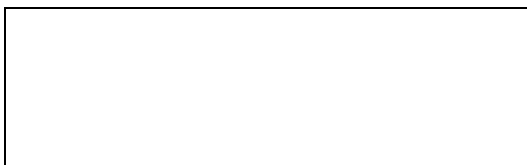
Vzorek 1



Vzorek 2



Vzorek 3



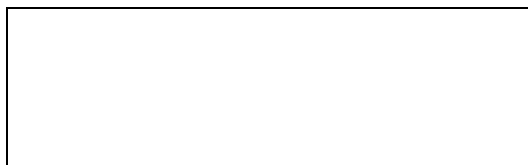
Vzorek 4



Vzorek 5



Vzorek 6



Vzorek 7



Vzorek 8



Vzorek 9



Vzorek 10



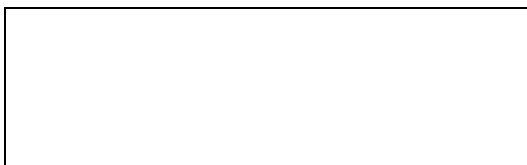
Vzorek 11



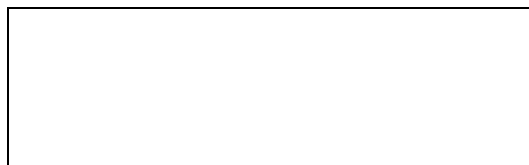
Vzorek 12



Vzorek 13



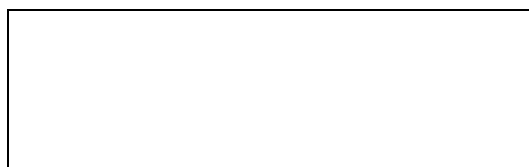
Vzorek 14



Vzorek 15



Vzorek 16



Vzorek 17



Vzorek 18



Vzorek 19



Vzorek 20



Vzorek 21



Vzorek 22



Vzorek 23



Vzorek 24



Vzorek 25



Vzorek 26

